

Libros de **Cátedra**

Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas

Fernanda Julia Gaspari y Gabriela Elba Senisterra
(coordinadoras)

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

VALORACIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES PARA EL ORDENAMIENTO AGROHIDROLÓGICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Fernanda Julia Gaspari
Gabriela Elba Senisterra
(coordinadoras)

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Agradecimientos

Este libro fue logrado por las actividades de investigación, docencia y transferencia de resultados desarrolladas por docentes, investigadores y becarios de Manejo de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata, para el Proyecto de Investigación denominado “Servicios Ambientales de Agroecosistemas para el Ordenamiento Territorial en la provincia de Buenos Aires” correspondiente al Programa de Incentivos a la Investigación, Secretaría de Políticas Universitarias del Ministerio de Educación de la Nación Argentina.

Prefacio

La gestión adaptativa de los recursos hídricos bajo el enfoque de los Servicios Ambientales (SA) para el ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas constituye una oportunidad de inclusión y compromiso de todas las partes implicadas (gobierno, científicos, usuarios), junto a la interacción e intercambio de información científica, cultural - política a diferentes escalas (local, regional). La conservación de los SA dependerá de estrategias de adaptación, de planes de manejo integral con cumplimiento de las leyes, establecimiento de usos prioritarios y los usos eficiente del recurso hídrico. Para asegurar el SA de provisión hídrica y el desarrollo de los sistemas productivos en cuencas experimentales ante el cambio global (cambio climático y cambio de uso del suelo) este libro expresa resultados alcanzados en proyectos de investigación que permiten expresar desafíos para la conservación del SA de disponibilidad y provisión hídrica.

Índice

PRÓLOGO	8
Capítulo 1	
La naturaleza y el contexto del manejo de cuencas hidrográficas	9
<i>Fernanda J. Gaspari</i>	
Capítulo 2	
Manejo de cuencas hidrográficas	
La cuenca como unidad de planificación, estudio y gestión para la conservación de los recursos naturales	11
<i>Fernanda J. Gaspari</i>	
Concepto general de manejo integral de cuencas hidrográficas	14
Rescate crítico de las distintas concepciones	16
Antecedentes mundiales y de américa latina	17
Capítulo 3	
El agua y la cuenca hidrográfica	22
<i>Fernanda J. Gaspari</i>	
Comportamiento hidrológico ambiental	22
Factores geomorfológicos, tipo de suelo, topográficos	26
Movimiento del agua en cauces y laderas	28
Generación del escurrimiento superficial	29
Erosión hídrica superficial	31
Daños por erosión, sedimentación e inundaciones	34
Sistema de clasificación de aptitud de uso de suelos	36
Clasificaciones agrohidrológicas de suelos	37
Capítulo 4	
Biodiversidad y ecosistemas	39
<i>Gabriela E. Senisterra</i>	
Conceptos de biodiversidad	39
Importancia de la conservación de la biodiversidad	40

Pautas para la conservación de la biodiversidad en el marco del ordenamiento agrohidrológico	41
Valoración de la biodiversidad como servicio ambiental	43

Capítulo 5

Servicios ambientales (SA)	45
<i>María Isabel Delgado</i>	
Antecedentes	45
Conceptos y enfoques teóricos de servicios ambientales	46
Tipos de servicios de los agroecosistemas	48
Servicios ecosistémicos	50
Sistemas socioecológicos	52
Evaluación de los ecosistemas y sus servicios	53
Servicios hídricos de los ecosistemas	54

Capítulo 6

Ordenamiento territorial en cuencas hidrográficas (OT)	55
<i>Fernanda J. Gaspari</i>	
Planificación y ordenamiento territorial en argentina	55
Concepción de ordenación agrohidrológica (OACH)	57
Criterios de selección de instrumentos metodológicos en función del nivel de proyecto del plan de OCH	58

Capítulo 7

Herramientas de OT. Sistemas de información geográfica (SIG)	62
<i>Fernanda J. Gaspari</i>	
Diagnóstico cartográfico en cuencas hidrográficas	62
Componentes de un sistemas de información geográficas (SIG)	63
Procesamiento de cartografía de base	64
Ejemplo de análisis geoespacial del escurrimiento superficial con SIG	65
Aplicación de métodos morfométricos	67
Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales para reconocimiento de usos del suelo	68

Capítulo 8

Instrumentos metodológicos para el pago por servicios ambientales (PSA)	69
<i>Gerardo A. Denegri</i>	
Pago por servicios ambientales	69
Profundizando el pago por servicios ambientales	70
Los servicios ambientales son externalidades positivas	72

Como conocer el valor de los SA _____	73
Estructura para la implementación de un PSA _____	75
Creación de mecanismos para la comercialización de SA _____	77
A modo de cierre _____	82
Bibliografía _____	82
Estudios de casos _____	89
a. Cuenca hidrográfica de llanura	
Dinámica de la distribución espacial de la erosión hídrica superficial _____	90
<i>Fernanda J. Gaspari</i>	
Bibliografía _____	100
b. Cuenca serrana	
Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica sobre el escurrimiento superficial _____	101
<i>Alfonso M. Rodríguez Vagaría</i>	
Bibliografía _____	116
c. Cuenca periserrana	
Vulnerabilidad ambiental en una cuenca hidrográfica _____	118
<i>Gabriela E. Senisterra</i>	
Bibliografía _____	125
d. Cuenca montañosa	
Servicio ambiental de provisión hídrica en cuencas subtropicales _____	127
<i>Andrea R. Díaz Gómez</i>	
Bibliografía _____	132
LOS AUTORES _____	134

Prólogo

La necesidad de ahondar en medidas de restauración hidrológica por efecto de la degradación ambiental y, particularmente, plantear estudios sobre los efectos de los agroecosistemas sobre el ciclo hidrológico, como una de las alternativas más viables de rehabilitación, a largo plazo, es un planteo inicial cuando se define un plan de ordenamiento agrohidrológico. De esta manera, se reconoce que existen servicios ambientales (SA) que producen los agroecosistemas, que son fundamentales para delinear estrategias de manejo sostenible y ordenamiento territorial, dado que estos producen un balance de impactos positivos y negativos en el marco de la sustentabilidad. Este trabajo presenta una visión sistémica que considera, además de los componentes naturales, productivos, económicos, sociales y la interacción entre ellos.

El marco territorial, el cual encuadra la integración de los SA a la sociedad, es la cuenca hidrográfica. Desde una visión holística y sistémica de la relación sociedad-naturaleza, la cuenca hidrográfica es entendida como un territorio de interacción de los subsistemas natural y social. De esta manera, el territorio no es solamente el entorno físico donde se enmarca la vida humana, animal y vegetal junto a los recursos naturales, sino que comprende también la actividad del hombre que modifica este espacio.

El manejo apropiado de una cuenca hidrográfica brinda beneficios a la sociedad, que se originan en una amplia gama de bienes y servicios, que pueden ser aprovechados por la comunidad regional y/o local. Este manejo se genera a partir de diferentes tipos de funciones y servicios de las cuencas hidrográficas, como ser ecológicas, sociales y económicas.

El aporte original del libro consiste en estudiar la contribución al desarrollo regional de los servicios ambientales en forma interdisciplinaria. Se plantean casos de estudio en cuencas hidrográficas representativas de las condiciones ambientales argentinas para fundar las bases teórico – prácticas para un potencial plan de ordenamiento agrohidrológico integral.

CAPÍTULO 1

La naturaleza y el contexto del manejo de cuencas hidrográficas

Fernanda J. Gaspari

La preocupación por el Manejo de las Cuencas Hidrográficas en la República Argentina data de la década de 1960 cuando el Dr. Julio Castellanos y su equipo de investigadores, sensibilizados por las problemáticas de sequías e inundaciones de la Provincia de Buenos Aires, partieron hacia una concepción integral en cuanto al papel del bosque para la regulación de los caudales torrenciales y la protección de los suelos, enunciada anteriormente por Florentino Ameghino en su ensayo “Las Secas y las Inundaciones en la Provincia de Buenos Aires”, “Obras de Retención sí, Obras de Desagüe no” publicada en 1886 en forma de folletín en el diario La Prensa.

En la planificación territorial de una cuenca hidrográfica es indispensable la comprensión y aplicación del concepto de estabilidad en el buen uso y manejo de los recursos naturales y de los servicios ambientales que aporta. La naturaleza es una unidad indivisible, considerando que los elementos naturales (el suelo, el agua, la vegetación, la fauna, el clima y el hombre) se encuentran íntimamente relacionados.

La degradación del ambiente altera al medio físico (erosión del suelo, contaminación de las aguas), y afecta substancialmente al hombre en particular y a la sociedad en general (marginalidad, extrema pobreza). La presión del hombre sobre estos recursos naturales es tan fuerte que su efecto, sobre las características del ambiente, puede generar que un ecosistema se modifique, y la respuesta varíe en su propio perjuicio.

Evidentemente la recuperación física del medio ambiente deberá pasar obligatoriamente por una recuperación social y económica del hombre y de la sociedad, que en última instancia, es una decisión de tipo político y de carácter educativo. De la misma manera, todos los elementos formadores del hombre, como por ejemplo, sus valores, su cultura, sus costumbres, su propia historia, y los elementos o características de la sociedad (marginadas, subdesarrolladas, tercer mundista), también están íntimamente correlacionadas y afectan directa o indirectamente el comportamiento de la naturaleza (López Cadenas del Llano, 1998).

La degradación de los recursos es un proceso continuo y sostenido que conduce a estados de deterioro cada vez más agudos. Debe ser considerada en un contexto global que incluye, además de la ganadería y cultivos, a otras dimensiones del problema dentro de los cuales destacan aspectos económicos, laborales, migratorios, culturales, educacionales y políticos. No

obstante lo anterior, el problema es fundamentalmente de naturaleza agrícola y ganadera y, por lo tanto, es el hombre el principal actor (Dourojeanni, 1990). El conocimiento de las características ambientales de una cuenca hidrográfica, sus servicios y las actividades que el hombre desarrolla, posibilita determinar los factores que han incidido activamente sobre el origen de los procesos degradativos y las consecuentes modificaciones ambientales.

Es importante señalar, que el hombre utiliza los bienes ambientales como insumo en los sistemas productivos, en cuyo proceso se transforman y agotan, definiendo un Bien Ambiental como un producto de la naturaleza que es directamente valorado y aprovechado por el ser humano (agua, madera, sustancias medicinales, entre otros).

Los Servicios Ambientales (SA) son aquellas funciones de los ecosistemas que generan beneficios y bienestar para las personas y la comunidad (Huetting et al, 1998), considerando que ni se transforman ni se gastan en el proceso de utilización del consumidor, distinguiéndolo de los bienes ambientales.

Los beneficios o servicios provistos por los ecosistemas a la sociedad se presentan desde múltiples perspectivas: la percepción del hombre, el estudio y análisis de sus dimensiones ecológicas, económicas, sociales y legales, y por último e integrador, su cuantificación y su optimización. Estos estudios tienden a generar instrumentos óptimos para el ordenamiento del territorio, proporcionando a la sociedad elementos que ayuden en la búsqueda de usos de la tierra más virtuosos y justos para el presente y para las generaciones futuras.

El objetivo principal del presente libro es proporcionar elementos y herramientas metodológicas que permitan comprender el marco teórico y práctico de la contribución de los servicios ambientales para la optimización del uso del recurso suelo-agua-vegetación en cuencas hidrográficas, fomentando el ordenamiento agrohidrológico.

Para ello se presentan temáticas que pretenden generar un proceso de autoformación de una conciencia crítica y valorativa de los SA, permitiendo complementar los conocimientos adoptados durante el desarrollo de la carrera universitaria. Además se plantean los ejes de la ordenación agrohidrológica en cuencas hidrográficas y la definición de sus servicios ambientales. Se plantean criterios de intervención profesional para el manejo de cuencas desde una perspectiva sustentable y se presentan casos de aplicación con tecnologías geoespaciales, para la comprensión del ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas.

CAPÍTULO 2

Manejo de cuencas hidrográficas

La cuenca como unidad de planificación,
estudio y gestión para la conservación
de los recursos naturales

Fernanda J. Gaspari

Los ríos siempre atrajeron a las comunidades humanas, por la seguridad que ofrecían en el suministro continuo de agua y por la riqueza agrícola del suelo. Además, desde el punto de vista comercial, por los ríos se viajaba hacia nuevas regiones, se exploraban otros territorios o bien se transportaban productos para el comercio y la industria. Por tanto, el desarrollo de todas las civilizaciones siempre ha estado unido a la proximidad del agua.

Describiendo el interés por el uso histórico del agua, Franquet Bernis (2005) menciona que desde la antigua Mesopotamia, asentada entre los ríos Éufrates y Tigris, los grupos humanos se han situado cerca del agua. Lo mismo vale para la civilización egipcia. Éstas y otras antiguas civilizaciones, al desarrollar la vida en comunidad en centros urbanos, empiezan a plantearse seriamente, a través de sus responsables, tanto el suministro regular de agua para sus súbditos como para el riego de los campos de cultivo. En estas civilizaciones, la propiedad, el dominio y la gestión del agua constituían la verdadera esencia del poder, como menciona el gran historiador Wittfogel referencia a “civilizaciones hidráulicas”.

Los primeros canales artificiales para conducir el agua a través de importantes distancias fueron construidos y diseñados por los habitantes de Urartu, en la actual Turquía, en el siglo VIII antes de Cristo. Los romanos fueron el primer pueblo en plantearse, una buena red para el suministro de agua, y su calidad y sanidad. Además, griegos y romanos aprovechaban la energía del agua en ruedas hidráulicas para moler el trigo y otros cereales. Otro historiador, Pierre Grimal, ha llamado a Roma “la ciudad del agua” porque, a finales del imperio, once acueductos transportaban agua a la ciudad de Roma. En otro aspecto, los juegos náuticos necesitaron la construcción de circos específicos, las naumaquias, donde se representaban auténticas batallas navales (Bernis, 2005).

El mundo árabe y los persas consideraron el agua, con otros usos, como ser deleite, ocio y juego: fuentes, termas, palacios en donde el agua es un elemento imprescindible de paz y de sosiego. A modo de ejemplo se menciona La Alambra en Granada, España en los siglos XVIII y el XIX.

En la Revolución Industrial se inició un cambio de la concepción del uso del agua en relación con el aumento de la población como la demanda creciente por parte del desarrollo,

produciendo el deterioro constante de la calidad del agua y degradando el medio ambiente. Este efecto fue en aumento hasta la actualidad.

El uso histórico del agua fue en base a su distribución en el territorio. Se puede inferir en que este recurso superficial circula por un área, vertiendo a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o bien directamente en el mar. Esta área se denomina **cuenca hidrográfica**, siendo una unidad morfológica integral, que se define en un territorio o unidad natural delimitada por la existencia de la divisoria topográfica de las aguas superficiales. La divisoria de aguas es una línea imaginaria que une puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta. En una **cuenca hidrológica**, además se incluye toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo, conformando un sistema integral, constituyendo un conjunto de componentes que están conectados e interactúan formando una unidad. La estabilidad y permanencia de todos sus componentes estructurales son propiedades y formas de comportamiento del sistema (Gaspari et al, 2009).

Ferreiro (1983) define **región hídrica** a un territorio geográfico caracterizado por un tipo de escurrimiento hídrico superficial homogéneo a través del cual es impracticable la delimitación de cuencas o subcuencas hídricas superficiales a la escala de trabajo encarado. El término cuenca, no obstante, se sigue utilizando en la práctica, sobre todo para referirse a las regiones hídricas extensas delimitadas por divisorias más marcadas.

Dentro de una cuenca se pueden distinguir tres áreas morfológicas: la parte alta o cabecera, la parte media o garganta y la parte baja o desembocadura.

- En las partes altas, la topografía normalmente es empinada y generalmente están cubiertas de pastizal de altura –bosque, y/o con presencia de afloramientos rocosos–.
- La cuenca media comprende zonas de pie de monte y valles bajos donde el río principal mantiene un cauce definido. En estas dos áreas hay un predominio de las nacientes de los arroyos/ríos, los cuales se asientan sobre la garganta.
- La parte baja o zona de transición con otro río o un lago/laguna/mar, es la más plana y a menudo tienen más importancia para la agricultura y los asentamientos humanos.

La cuenca tiene gran importancia por la relación directa que existe entre la cuenca alta y la cuenca baja, de forma que las acciones que el hombre realiza en la parte alta afectan de manera determinante en la parte baja.

La delimitación de una cuenca hidrográfica contempla elementos físicos y biológicos, conformados por diferentes unidades ecológicas, las cuales se definen por sus características naturales y unidades socio-políticas (comunidades, provincias o regiones) (Gaspari et al, 2009). El conjunto de estos elementos que conforman la cuenca se interrelacionan definiendo un sistema de entradas y salidas de agua y determinan su funcionamiento. Ellos son:

- biofísicos (atmósfera, clima, suelo y subsuelo, hidrología, flora y fauna);

- antrópicos (socio-económicos-culturales (infraestructura, tecnología, niveles de calidad de vida, creencias, conocimientos, sistemas de producción, tenencia de tierra, entre otros),
- demográficos (tamaño y distribución de la población).
- jurídico-institucionales (normas que regulan el uso de los recursos naturales, leyes, políticas de desarrollo, tenencia de las tierras, instituciones involucradas).

Estos elementos interactúan definiendo a la cuenca hidrográfica como una unidad de planificación, desarrollada sobre un territorio que compone un sistema integral. Por ello, se establece que las cuencas hidrográficas son unidades físicas que sirven como marco práctico objetivo para el estudio, la planificación y gestión del desarrollo sustentable para cada una de las unidades político catastrales que la componen (Figura 2.1).

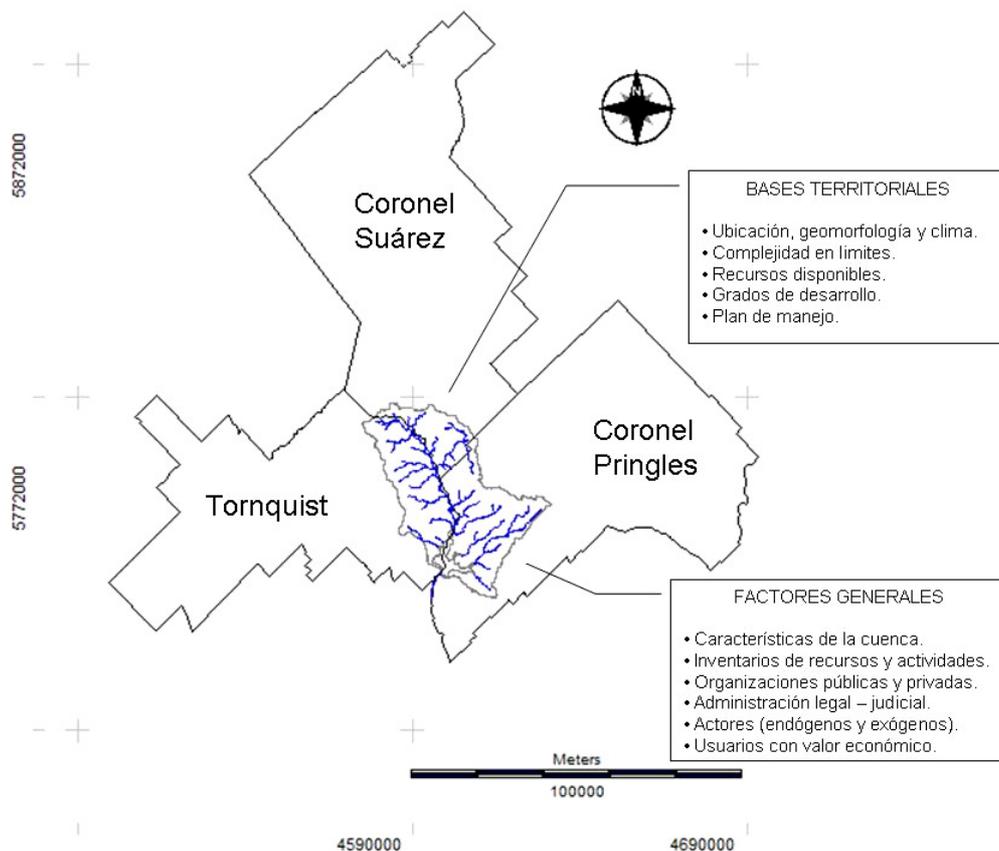


Figura 2.1. Manejo compartido por municipios de una cuenca hidrográfica.

Además, una cuenca hidrográfica es considerada como un sistema dinámico en interacción continua, espacial y temporalmente, con sus componentes físicos como el agua, el aire, el suelo, subsuelo, el clima y los minerales; biológicos como la flora y la fauna; antropogénicos como los socioeconómicos, culturales e institucionales. Todos estos componentes conforman un sistema hidrológico, que si alguno de ellos es alterado, se produce un desequilibrio que, de acuerdo a las características de la cuenca, podría recuperar nuevamente el balance o podría sufrir un deterioro. Si el Desarrollo Sustentable es el equilibrio entre tres elementos esenciales: ambiental, social y económico, en la cuenca es fundamental que este equilibrio exista (Gaspari et al, 2009).

Concepto general de manejo integral de cuencas hidrográficas

Las relaciones entre la población humana y el entorno de las cuencas hidrográficas se desenvuelven en un amplio marco en el cual se dan procesos internos y externos a la cuenca, río arriba y río abajo, de orden micro y macro. Este marco depende en gran medida de las políticas y las leyes a través de las cuales la sociedad nacional y los tratados internacionales reglamentan el uso de los recursos y servicios de la cuenca hidrográfica. La ecología humana de las cuencas hidrográficas se basa en la micro y macroeconomía del capital natural (FAO, 2007).

La mayoría de los países en desarrollo y en particular los de América Latina, presentan características muy diferentes y particulares. Aún cuando algunas cuencas hidrográficas pueden presentar semejanzas en su función y/o uso, se diferencian cuando se convierten en unidades sociales donde el hombre habita y lucha por su subsistencia con graves limitaciones socioeconómicas, el comportamiento de la cuenca y su manejo varían totalmente. Por ello, en los países de la región se evolucionó desde una visión centrada en la gestión de los recursos hídricos a considerar a los recursos asociados al agua y pensar finalmente que se debía incorporar a los habitantes de la cuenca (Dourojeanni, 1990).

Un manejo integral de cuencas (MICH) es un conjunto de esfuerzos tendientes a identificar y aplicar opciones técnicas, socioeconómicas y legales, que establecen una solución a los problemas causados por el deterioro y mal uso de los recursos naturales renovables, como las cuencas hidrográficas, para lograr un mejor desarrollo y calidad de vida de su población. Estos esfuerzos deben ser compartidos no solo por los usuarios de las cuencas hidrográficas sino por las instituciones político administrativas que la integran (Figura 2.1).

El concepto global de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas (MICH) se basa en lograr un mejor desarrollo de la sociedad humana inserta en ella y de la calidad de vida de su población considerando el medio ambiente sustentable. Se define como un conjunto de esfuerzos tendientes a identificar y aplicar opciones técnicas, socioeconómicas y legales, que establecen una solución a la problemática causada por el deterioro y mal uso de los recursos naturales renovables, así como en la integridad de las cuencas hidrográficas (Gaspari et al, 2009).

Considerando la evolución de los conceptos en relación al manejo de cuencas hidrográficas como consecuencia de la aplicación de políticas integradoras, se genera una planificación y gestión para el desarrollo sostenible, que forma parte de la base indispensable para la comprensión y aplicación del concepto de estabilidad en el buen uso y manejo de los recursos naturales y establecer una metodología para la elaboración de un Plan de Ordenamiento Territorial (Gaspari, 2002).

Florentino Ameghino, antropólogo y paleontólogo argentino, escribió un intento de enfoque comprehensivo de la problemática hídrica de cuencas pampeanas en su famoso libro *Las Secas y las Inundaciones en la Provincia de Buenos Aires* (1884). Al hacerlo, se opone a la opinión generalizada de la época (que aún se conserva en cierto grado), de que las inundaciones son un problema aislado que puede ser resuelto mediante la construcción a gran escala de canales de

desagüe. Ameghino, en cambio, propone la construcción de reservorios, para almacenar los excedentes producidos en tiempos de inundaciones, para luego aprovecharlos durante las sequías.

Desde Ameghino hasta la actualidad, se definieron diversos objetivos para el MICH, establecidos a partir de los propósitos particulares de manejo de cada cuenca hidrográfica. En la tabla 2.1 se expresa una serie de propósitos posibles y los tipos de medidas de ordenación agrohidrológica.

Tabla 2.1. *Objetivos para el Manejo Integral de Cuencas hidrográficas.*

PROPÓSITO	DESCRIPCIÓN	TIPOS DE TRABAJO Y MEDIDAS
Manejo de cuencas	Conservación y mejoramiento del suelo, control de erosión, regulación del escurrimiento, control de sedimentos y protección de embalses, mejoramiento de bosques y pastizales. Protección de la calidad del agua.	Corrección de torrentes y regulación de ríos torrenciales. Práctica de conservación de suelos. Pequeños embalses para conservación del agua. Manejo silvo-pastoril.
Uso recreativo del agua	Ofrecer oportunidad de recreación basado en el recurso agua.	Embalses, facilidades como parques, muelles, etc.
Control de inundaciones	Prevención o reducción de daños por inundaciones, a obras y actividades. Regulación de ríos, etc.	Diques, presas, muros, mejoramiento hidráulico del cauce, zonificación, medidas de pronóstico.
Irrigación	Producción agrícola.	Diques, presas, embalses, pozos, canales, bombas, obras de drenaje, etc.
Acueductos	Suministro de agua para uso doméstico, industrial, comercial y otros.	Diques, presas, embalses, pozos, red de distribución, bombas, planta de tratamiento, etc.
Drenaje	Producción agrícola. Desarrollo urbano. Protección de la salud pública.	Zanjas, drenajes, muros, estaciones de bombeo, etc.
Piscicultura y vida silvestre	Mejoramiento del hábitat para peces y vida silvestre con propósito de recreación y otros, fomento de la piscicultura como actividad deportiva y comercial.	Refugios, viveros, escaleras de peces, regulación del régimen, embalses, control de la contaminación, regulación en el uso de la tierra.
Reducción de la contaminación	Protección o mejora de la calidad del agua de acuerdo al uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario y hábitat acuático, etc.	Planta de tratamiento. Embalse de regulación. Sistema de alcantarillas. Regulación de medidas legales.

En base a un desarrollo sustentable, el manejo de una cuenca considerará medidas que contribuyan al control, protección, conservación, recuperación y otros aspectos ambientales. La cuenca, sus recursos naturales y sus habitantes constituyen una unidad física, biológica, económica, social y cultural con características singulares en cada caso. Físicamente la cuenca es la fuente natural de captación y concentración de agua superficial y al mismo tiempo es una fuente de vida para el ser humano, aunque también se convertirá en riesgo para situaciones extremas como sequías, inundaciones o contaminación.

Por lo tanto un manejo integrado de cuencas tiene como misión alcanzar un equilibrio entre el aprovechamiento económico y el manejo ambiental, lo cual repercutirá en el equilibrio social, ambiental y económico, contribuyendo de esta manera a la sustentabilidad ambiental y al aprovechamiento sostenido de los recursos naturales.

Un plan de manejo integral debe considerar: ordenamiento de cuencas, restauración hidrológica forestal, recuperación y conservación de suelos y agua, y por último monitoreo de recursos asociados a cuencas hidrográficas.

Rescate crítico de las distintas concepciones

En los últimos 20 años, el manejo de cuencas atraviesa un período de experimentación en el cual todavía coexisten y se mezclan las viejas prácticas con las nuevas. La nueva generación de programas de gestión de cuencas que se están elaborando tiene un nuevo enfoque y una nueva estrategia. La tabla 2.2 resume una parte de los cambios en el paradigma del manejo de cuenca que esta experimentación está produciendo (FAO, 2007).

Es común que la gestión del agua y del territorio se desarrolle en forma parcial, fragmentada e incluso descoordinada, por los diferentes actores que tienen competencia en su gestión. Por ello se debe concertar un Sistema de Gestión Ambiental que requiere fortalecimiento en el conocimiento de los elementos que integran y participan en el ciclo hidrológico, potenciando el valor que poseen las diversas cuencas hidrográficas y sus culturas asociadas, reconociendo las características singulares de cada una de éstas.

Tabla 2.2. Cambios en los paradigmas anterior y actual de la gestión de cuencas hidrográficas

GENERACIÓN ANTERIOR	PRÓXIMA GENERACIÓN
Integración de las cuestiones socioeconómicas en los programas de gestión de cuencas hidrográficas	Énfasis en la gestión de los recursos naturales de la cuenca en el marco del proceso de desarrollo socioeconómico local
Enfoque en la participación “popular” o de la “comunidad”, con énfasis en la planificación participativa de abajo hacia arriba	Enfoque en la participación de todos los interesados, asociando los intereses sociales, técnicos y políticos, en un proceso de concertación pluralista

GENERACIÓN ANTERIOR	PRÓXIMA GENERACIÓN
Estructura rígida del programa que sobrestima la capacidad del gobierno central de hacer cumplir las políticas y carece de acuerdos adecuados institucionales/organizacionales a nivel local. Planificación y financiación de corto plazo	Estructura flexible del programa que se adapta a los procesos e instancias del gobierno local. Planificación y financiación de largo plazo
Atribución de la responsabilidad de ejecución a instituciones “pesadas”, como programas que reciben ayuda de los donantes o autoridades de cuenca	Atribución de la responsabilidad de ejecución a instituciones “ligeras”, como foros de cuencas, consorcios y asociaciones, donde los programas y las autoridades de cuenca desempeñan una función subsidiaria
Atención a los efectos locales, de corto plazo. Pequeños proyectos con poca capacidad de coordinar en el ámbito de grandes cuencas	Atención a los nexos entre río arriba y río abajo y los efectos a largo plazo. Coordinación de los procesos locales en el ámbito de grandes cuencas
Estimación y evaluación participativa “rápida y superficial” (por ej., el diagnóstico rural participativo) con poca relación con los resultados de la investigación científica	Diálogo entre el conocimiento local y el científico en procesos de investigación-acción “razonablemente rápidos y profundizados”, con la participación de una variedad de partes interesadas
Creencia en que los conflictos sociales por el acceso y la tenencia de los recursos naturales en las cuencas se pueden resolver mediante intervenciones técnicas acertadas	Conciencia de que, por lo general, los conflictos sociales tienen origen social y político y se deben tratar a través de la concertación

La Conferencia Internacional de las Naciones Unidas (Tokio, Japón, Diciembre de 2004) define: “La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) es un marco conceptual y un proceso de implementación que coordina el manejo del agua y otros recursos naturales relacionados con el objetivo de promover el desarrollo económico y social, y el mejoramiento del medio ambiente. El desarrollo, uso y manejo de los recursos hídricos deben armonizarse con el fin de asegurar que las actividades humanas y el medio ambiente puedan beneficiarse eficazmente con los valiosos recursos hídricos”. Otra definición de GIRH es la de la Asociación Mundial del Agua (GWP) que expresa que es: “Un proceso sistemático para el desarrollo, asignación y monitoreo del recurso hídrico y sus usos, en el contexto de objetivos sociales, económicos y ambientales” (Disponible en <<http://www.gwp.org/>>).

El mayor conocimiento de la dinámica de las cuencas permitirá a los diferentes actores a tomar mejores decisiones respecto de sus acciones, facilitando así las instancias de coordinación y articulación.

Antecedentes mundiales y de América Latina

La gestión de cuencas hidrográficas ha evolucionado pasando por diversas etapas de desarrollo. En las primeras, formaba parte de la silvicultura y de la hidrología. La participación

de la población no se tenía en cuenta. Se trataba de un asunto que competía a las dependencias forestales del gobierno. En la segunda etapa se relacionó con la gestión de los recursos naturales. Se incluyeron actividades que contemplaban el beneficio económico. Actualmente se dirige la atención a los beneficiarios. Hoy se trata de una gestión “participativa e integrada”, con el compromiso de la población local.

La FAO (2007) llevó a cabo los siguientes proyectos de gestión de cuencas hidrográficas entre 1990 y 2000:

- Proyecto de capacitación en gestión participativa de cuencas hidrográficas, de 1996 a 1999, región de Asia (FAO/Países Bajos);
- Proyecto interregional para la conservación y el desarrollo participativos de las tierras altas, de 1992 a 2000: Bolivia, Burundi, Nepal, Pakistán, Rwanda y Túnez (FAO/Italia);
- Proyecto de gestión de cuencas hidrográficas y obtención de leña en Shivapuri, de 1985 a 1999, Nepal (FAO/Noruega);
- Manejo participativo de cuencas hidrográficas, de 1995 a 1999, Viet-Nam (FAO/Bélgica);
- Manejo de cuencas hidrográficas en Mithawan, de 1995 a 2000, Pakistán (FAO/Japón);
- Manejo de cuencas hidrográficas: tres zonas críticas, de 1993 a 1999, Myanmar (FAO/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]);
- Planificación y gestión de cuencas hidrográficas, de 1993 a 1997, Pakistán (FAO/ PNUD);
- Manejo de cuencas hidrográficas en Suketar, de 1989 a 1997, Pakistán (FAO/PNUD).

En los ocho proyectos hubo participación de la comunidad o de grupos y se invirtieron considerables recursos en la capacitación de técnicos locales y personas de las aldeas. Todos los proyectos tuvieron componentes sociales y biofísicos, pero no hubo suficiente información para evaluar el desempeño de los mismos. Casi todos los proyectos carecieron de indicadores de sostenibilidad (FAO, 2007).

En relación a la integración de relaciones de producción, ligadas a la interacción del hombre con la naturaleza y cómo aquel transforma a esta para la creación de bienes y servicios que satisfagan sus necesidades, a partir de los elementos que conforman la cuenca hidrográfica, se generaron redes globales y latinoamericanas. Las más conocidas son:

REDLACH: Red Latinoamericana de Manejo de Cuencas Hidrográficas

El objetivo es progresar en el manejo de las cuencas hidrográficas y en la promoción del desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Su creación fue en el año 1980. Cuenta con el apoyo de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la FAO. El rol principal fue el de facilitar el intercambio de información y promover la cooperación técnica entre países. Los integrantes son instituciones públicas y privadas o autónomas de países miembros: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela (disponible en <www.rlc.fao.org/redes/redlach>).

RIOC: Red Internacional de Organismos de Cuenca

El objetivo es promover la gestión de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica, como una herramienta del desarrollo sostenible. Creación: 1994. Los miembros son organismos de cuenca; administraciones gubernamentales responsables del agua y las organizaciones de cooperación bi o multilateral. Presenta una organización basada en una Asamblea General, Comité de Enlace, Presidente y una Secretaría Técnica Permanente (París, Francia) y Redes regionales: fortalecer las relaciones entre miembros en países vecinos, desarrollar actividades colectivas en la región y organizar actividades comunes. La misma consta de 50 países miembro 50; 133 organismos; y en Argentina se distribuyen 5 (disponible en <www.rioc.org>).

RALCEA: Red Latinoamericana de Centros de Conocimiento de Gestión de Recursos Hídricos

RALCEA tiene como objetivo la promoción de políticas públicas basadas en el conocimiento científico-técnico en el marco del sector del agua. Para ello prevé fomentar la cooperación sur-sur apoyando el establecimiento de una red regional de centros de conocimiento latinoamericanos. La duración del proyecto, que comenzó en la segunda mitad de 2010, es de cuatro años. El presupuesto total previsto es de 2,5 millones EUR, de los cuales 2,25 millones EUR los aporta la Comisión Europea. Los beneficiarios directos del proyecto están representados: a nivel científico/técnico, por los centros de conocimiento; a nivel de formulación e implementación de políticas públicas, por profesionales y funcionarios integrantes de Ministerios relacionados, agencias de cuenca, instituciones de gestión del agua, etc. Los beneficiarios indirectos serán el conjunto de la población latinoamericana, que podrá beneficiarse de una coordinación y capacidad cada vez mayores dentro del sector del agua. (disponible en <http://ec.europa.eu/europeaid/where/latin-america/regional-cooperation/ralcea/index_es.htm>).

RIRH: Red Interamericana de Recursos Hídricos

RIRH presenta como objetivo construir y reforzar asociaciones de recursos de agua entre naciones, organizaciones, e individuos; promover la educación y el intercambio abierto de información y experticia técnica; y realzar la comunicación, cooperación, colaboración y compromiso financiero en la gestión integrada de recursos hídricos y tierras, dentro del contexto de sostenibilidad ambiental y económica en América. Presenta puntos Focales Nacionales en cada uno de los 34 países miembros de la OEA. Su organización consta de un Consejo Consultivo, Comité de Ejecutivo, Secretaría Técnica, Puntos Focales, Puntos Focales Operacionales y Nodos Regionales (disponible en <www.conosur.rirh.net>).

GWP: Global Water Partnership

La visión de la GWP (Asociación Mundial del Agua) es para tender a un mundo con seguridad hídrica. Su misión es apoyar el desarrollo sostenible y la gestión de los recursos hídricos en todos los niveles. GWP fue fundada en 1996 por el Banco Mundial, el Programa de

Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) y la Agencia Sueca de Desarrollo Internacional (ASDI) para fomentar la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH). La GIRH es un proceso que promueve el desarrollo y la gestión del agua, la tierra y los recursos relacionados coordinada con el fin de maximizar el bienestar económico y social sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas y el medio ambiente. La red está abierta a todas las organizaciones involucradas en la gestión de los recursos hídricos, a las instituciones gubernamentales, agencias de las Naciones Unidas, bancos de desarrollo bilaterales y multilaterales, asociaciones profesionales, instituciones de investigación, organizaciones no gubernamentales, y el sector privado. Los valores fundamentales de GWP se unen con la asistencia de los Socios que son de suma importancia para el cumplimiento de su misión (disponible en <<http://www.gwp.org/>>).

FADA: Foro Argentino del Agua

El Foro Argentino del Agua se suma al esfuerzo de promover la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) como enfoque estratégico para garantizar la seguridad hídrica, estableciendo canales de comunicación y coordinación con otros actores sociales, instituciones, programas y redes, tanto en el país como en la región. Participa en la GWP como país miembro. El principal requisito para ser miembro es que los Socios se comprometen a adherirse a los valores fundamentales. GWP, y todas las entidades regionales de GWP, se comprometen a luchar por la inclusión, la apertura, la transparencia, la responsabilidad, el respeto, la sensibilidad de género y la solidaridad. Estos son nuestros valores fundamentales. El 06/12/2007 quedó constituido con la adhesión de 28 miembros fundadores, pertenecientes a diferentes sectores involucrados en la problemática hídrica: gobierno, empresas, investigación, asociaciones de usuarios y otras organizaciones de la sociedad civil, localizados en diferentes áreas geográficas del país (disponible en <<http://gwpargentina.info/>>).

RELOC: Red Latinoamericana de Organizaciones de Cuencas

El propósito es la promoción de la gestión global, integrada, coherente y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas. Fue creada en 1996, en la Primera Asamblea de la RIOC. Está integrada por organizaciones, entidades de cuenca y personas de: Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, Francia, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela (disponible en <www.reloc.net>).

LA-WETnet: Red Latinoamericana de Desarrollo de Capacidades para la Gestión Integrada del Agua

Tiene como objetivo generar pautas para el desarrollo de la educación y capacitación en Agua mediante el mejoramiento del acceso y el intercambio de materiales de educación y capacitación en la gestión de los recursos y servicios de agua; la promoción del desarrollo de

investigaciones conjuntas; el facilitamiento del intercambio de información para la gestión de recursos hídricos y la capacitación y la generación de conciencia pública en relación al uso y manejo de los recursos hídricos. Fue creada en el año 2002. La misma se desarrolla en Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela (disponible en <http://la-wetnet.org/newsletters/2012/2012_5/>).

RIGA: Red de Investigación y Gestión Ambiental de Cuenca del Plata

El objetivo de su creación en el año 2001, fue el de mejorar las condiciones de uso y desarrollo sostenible de los recursos hídricos así como de la gestión integrada del ambiente en la cuenca del Plata, promoviendo un sistema de comunicación, información y cooperación entre los miembros dedicados a la planificación, evaluación, investigación, desarrollo tecnológico, administración, aspectos jurídicos, gestión y aprovechamiento de tales recursos. Los miembros son organizaciones gubernamentales y no gubernamentales nacionales e internacionales de la Cuenca del Plata (Argentina, Brasil, Bolivia y Uruguay). Disponible en <www.iarh.org.ar>.

Arg Cap Net: Red Argentina de Capacitación y Fortalecimiento de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos

El objetivo es formar recursos humanos y de fortalecer la gestión integrada de los recursos hídricos. Está integrada por instituciones de los ámbitos nacional, provincial y local en relación a los recursos hídricos, como ser: FIUBA, Departamento de Hidráulica de la Fi y FCNyM (UNLP), LH (UNC), Grupo Integrado de Aguas (UNCu), FICH (UNL), Instituto de Hidrología de Llanuras (UNCPBA), FCEIA (UNR), Instituto de Investigaciones Hidráulicas (UNSJ), FCEyN (UNMdP), FI (UNNE), FCE (UNSE), FCEFQyN (UNRC), FI (UNde la Patagonia San Juan Bosco, IARH, AIDIS, Comité Permanente (CONAGUA), INA y ENOHSa (disponible en <www.argcapnet.org.ar/>).

CAPÍTULO 3

El agua y la cuenca hidrográfica

Fernanda J. Gaspari

Comportamiento hidrológico ambiental

El agua es un recurso natural inagotable pero extremadamente vulnerable, por lo cual, el conocimiento de ciclo hidrológico es de fundamental importancia para el estudio de los recursos hídricos. Es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve al océano después de pasar por las etapas de precipitación, escorrentía superficial y/o escorrentía subterránea. En los océanos se encuentra el 97% del agua de la Tierra, mientras el 3% constituye el agua dulce, tan importante para nuestra sobrevivencia, la cual se distribuye en distintos reservorios como ser ríos, arroyos, aguas subterráneas, entre otros (Figura 3.1).

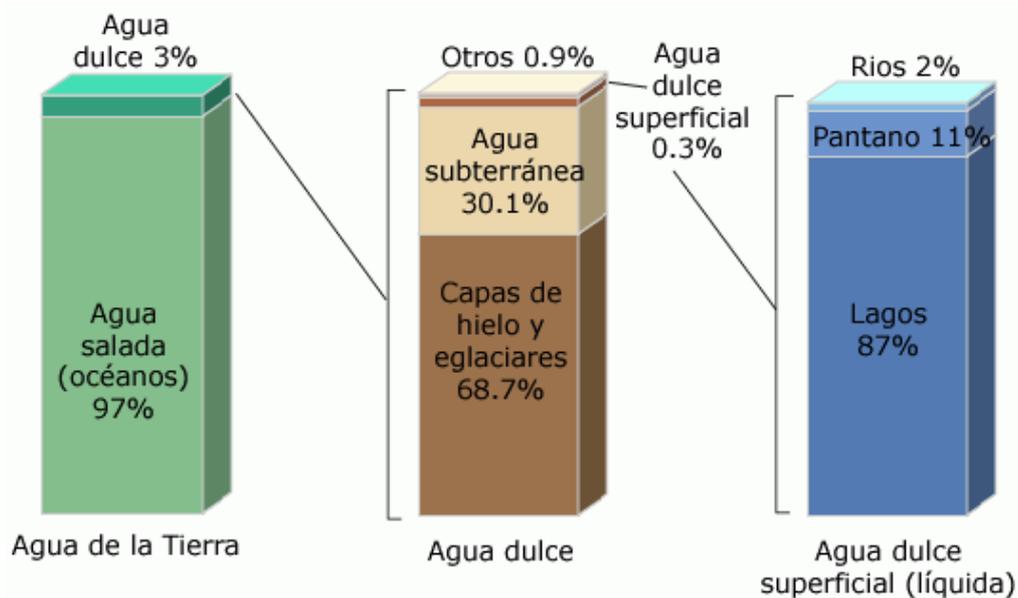


Figura 3.1: Distribución global del agua. © USGS, 2008. Disponible en <<http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>>

El agua, aunque se encuentra en un movimiento cíclico continuo, es cuantificable y debido a los requerimientos actuales del hombre, es necesario conocer con exactitud ese movimiento y definirlo, para aprovechar de forma racional los recursos hídricos y que no se modifiquen de forma irreversible, los componentes que intervienen en el ciclo del agua. Según Egger (2003) el

ciclo hidrológico se expresa como de una serie de reservas de agua, y de procesos que causan que el agua se mueva entre estas reservas.

El concepto de ciclo se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido), debido al flujo de energía solar y la gravedad. Este movimiento del agua se define cuantitativamente con un balance hidrológico, estableciendo el procedimiento por el cual se calcula la cantidad de agua disponible en un sistema o zona determinada, a partir del cual se deduce el agua utilizada o perdida por diversas causas y el agua que ha ingresado por precipitación o por otro medio (Figura 3.2).



Figura 3.2. Representación del Ciclo Hidrológico. © USGS, 2008. Disponible en <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>

La expresión matemática que expresa el balance hidrológico es muy simple, aunque su cuantificación es normalmente complicada, principalmente por la falta de medidas directas sobre el recurso hídrico y por la variación espacial y temporal de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca. Una vez que se producen excedentes superficiales, incluso la misma dirección del escurrimiento es incierta. Esta ecuación enuncia que el balance hidrológico es la ley más importante en Hidrología (Llorens, 2003). Como menciona Lavoisier "nada se crea ni se destruye", indicando en forma generalizada, que las entradas al ciclo son iguales que las salidas más la variación por almacenamiento, que en algunos casos se vuelve despreciable por lo que se la extrae de la ecuación (Custodio y Llamas, 1996).

La ecuación del balance hidrológico (Ecuación 3.1) se resume a partir de la cuantificación de la precipitación (**P**).

$$P = ET + E + I + e$$

Ecuación 3.1

Siendo ET la evapotranspiración, E el escurrimiento, I la infiltración y e el error cometido en las estimaciones o error de cierre.

Particularmente, Ward y Robinson (1990) establecen que los componentes principales del ciclo del agua en una cuenca hidrológica son ilustrados por la ecuación del balance hídrico (Ecuación 3.2).

$$P = ET + Q + \Delta S + \Delta G$$

Ecuación 3.2

Donde, P: Precipitación, ET: Evapotranspiración, Q: Caudal, ΔS : Cambio en el almacenamiento de agua en el suelo, ΔG : Cambio en almacenamiento de aguas subterránea (freática). Las unidades de medida son expresadas en mm de agua por unidad de tiempo (día, semana, mes o año).

Un simple balance de agua, como lo expresa la ecuación 3.2, permite la estimación de las necesidades de agua de la vegetación, logrado a partir del monitoreo de las variables relevantes del sistema o ciclo. En la actualidad se dispone de gran número de métodos de balance hidrológico, pero hay que recordar que la técnica es útil a nivel local (Gaspari et al, 2009). Esta dinámica, cíclica, en una cuenca hidrográfica se debe establecer como punto de partida para todo estudio de diagnóstico hidrológico.

El concepto de cuenca, tradicionalmente definida en hidrología como la extensión de tierra cuyos excedentes hídricos drenan siempre por un determinado punto (Chow, 1994), es solo parcialmente aplicable en terrenos con altas pendientes; dependiendo de la condición imperante, y principalmente, con un solo canal de desagüe. Este sistema se denomina Sistema Hidrológico Típico (SHT).

En cuencas de muy baja pendiente, es difícil la delimitación de unidades hidrológicas a partir de relevamientos topográficos, y sus límites no son nítidos (Sallies, 1999). Los excedentes que se producen, en determinadas zonas, pueden tener destinos distintos y acumularse sin llegar al canal de desagüe, produciéndose alternadamente trasvases en una dirección o en otra entre subcuencas próximas. Estas características particulares otorgan al sistema hidrológico la denominación de Sistemas Hidrológicos No Típicos (SHNT) (Fertonani y

Prendes, 1983; Sallies, 1999) o bien Regiones Hídricas Superficiales. Además, la escasa pendiente regional del terreno también produce bajas velocidades de escurrimiento superficial, movimientos horizontales lentos, que implica un escaso poder erosivo de la corriente de agua. Iriondo (1986) menciona que en cuencas de llanura, en general las redes hidrográficas están mal desarrolladas y son poco eficientes. Ante la inexistencia de una red de drenaje densa, el flujo superficial de agua en cuencas mal desarrolladas es principalmente mantiforme, conformando una estructura de disipación (Fertonani y Prendes, 1983).

Jobbagy y Santoni mencionan que el mecanismo de descarga de la napa en SHNT es principalmente por evapotranspiración, por ello las cuencas de llanura se caracterizan por la presencia de la superficie freática a poca profundidad. Esto produce un abundante intercambio de agua y sales entre el agua subterránea y la superficie (2006). Por ello, el balance de agua en el suelo es por lo tanto principalmente vertical (Fuschini Mejía, 1994).

Otra variable que integra los diversos componentes del ecosistema es la vegetación que se comporta como un indicador de las condiciones del medio y en el balance hidrológico. En condiciones naturales se establece un equilibrio entre los componentes físicos y las características de la vegetación, por lo cual los atributos de la vegetación reflejan las características del medio donde ésta se desarrolla y la dinámica hídrica que la integra.

El manejo de la cobertura vegetal, permite modificar las condicionantes ambientales del territorio constituyendo uno de los ejes principales del desarrollo sustentable. La vegetación puede ser manejada de manera de modificar su composición y estructura con el fin de optimizar las condiciones del hábitat y nichos, para las especies animales y para el hombre.

La influencia de la cobertura vegetal sobre la dinámica hídrica se presenta en cada una de las etapas de su ciclo. El efecto debe incluir los aspectos cuantitativos y cualitativos que la caracterizan, como ser la abundancia y densidad, la cobertura o grado de cubierta, la biomasa y productividad primaria, la dominancia y la diversidad. El uso del suelo y de la vegetación se expresa a través del destino antrópico asignado a cada área como producto final de la utilización. Las diferentes clases de uso asignado a cada espacio pueden ser: residencial, industrial, cultivo, forestal, ganadero, minero, áreas protegidas, sin uso o de recreación. El uso no está distribuido uniformemente en una cuenca hidrográfica, siendo a veces compartido entre cuencas vecinas. Esta característica genera un movimiento del agua que es particular en cada unidad hidrológica.

La vegetación y uso del suelo afecta la dinámica hídrica. Por un lado los bosques acrecientan la altura efectiva que deben remontar los vientos, lo cual puede definir un aumento de las precipitaciones que va entre un 0,8% y un 1%, según experiencias centroeuropeas. Por otra parte, el efecto de fricción que realizan los bosques tiende a frenar la velocidad de avance, favoreciendo el movimiento ascensional de los vientos; según datos experimentales, produciendo un aumento de un 2 a un 3% de las precipitaciones (López Cadenas del Llano, 1998; Gaspari et al, 2009).

La intercepción de la precipitación por la vegetación es alta al inicio de la tormenta (vegetación seca) y disminuye con el tiempo hasta un valor constante mínimo, equivalente a la

pérdida de agua por evaporación desde el follaje. La influencia de la vegetación y uso del suelo es un factor importante a considerar debido a que la misma actúa como “filtro” en el ciclo hidrológico (Gaspari et al, 2009).

López Cadenas del Llano (1998) señala que la influencia de la vegetación sobre la infiltración del agua en el suelo es decisiva en masas boscosas, ya que el continuo aporte de materia orgánica origina una estructura más granular del suelo, favoreciendo la infiltración. Finalmente plantea que el mayor impacto de los bosques sobre el escurrimiento, es la modificación de la forma en que estos volúmenes acceden a los cauces, disminuyendo drásticamente las aportaciones superficiales y aumentando las aportaciones subterráneas.

Farmer et al (2003), han realizado un estudio que contenía balances hidrológicos en 11 cuencas, divididas entre cuencas templadas y semiáridas. Concluyen que las diferencias observadas se pueden atribuir a la variabilidad de perfiles de suelo (permeabilidad y capacidad de almacenaje de agua en el suelo), vegetación (cobertura y uso eficiente del agua) y clima (precipitación y evaporación potencial). Los resultados afirman que la influencia relativa de las características del clima y del paisaje, sobre la captación de agua, se manifiesta en una transformación de la sensibilidad del proceso, con el aumento de los períodos de tiempo a estudiar (anual, mensual, diario y a la hora), siendo más sensible las cuencas con características semiáridas que las cuencas húmedas, debido a las diferentes estructuras vegetales.

Factores geomorfológicos, tipo de suelo, topográficos

La integración de la geomorfología, la edafología y la topografía permite comprender la interrelación de sus procesos dinámicos y/o formadores estableciendo pautas de reconocimiento de sus potencialidades y limitaciones de uso según su distribución espacial.

La hidrogeología estudia el movimiento del agua (natural o inducido) a través de las formaciones de suelos permeables. Además, como ciencia, se ocupa de evaluar la presencia, disponibilidad y calidad del agua subterránea, según la capacidad para almacenarla y la aptitud para transmitirla.

El agua subsuperficial se divide verticalmente en un perfil en profundidad, en dos zonas, dependiendo de la proporción de los poros del suelo ocupados por agua: la zona de aireación y la de saturación. Es importante destacar que los límites de las distintas zonas no son rígidos, debido a que por el efecto de infiltración o desecamiento, la freática cambia de posición.

El agua de la capa freática, que se encuentra a presión atmosférica y ofrece de línea de división entre la zona saturada y la zona de aireación, la zona saturada tiene una presión superior a la presión atmosférica, mientras que en la zona de aireación la presión es inferior a la atmosférica, debido a que el ascenso del agua en esta zona se debe a la acción de las fuerzas capilares.

La zona comprendida desde la línea freática hasta la superficie del suelo se denomina zona de "aireación", en esta zona los poros contienen gas y agua. La misma se subdivide en zonas (Bear, 1972):

- La zona "capilar", donde asciende el agua de la napa freática por capilaridad.
- La zona "vadosa" o intermedia, donde el agua se encuentra inmóvil, gobernada por fuerzas higroscópicas y capilares. En los casos donde la freática se encuentra a escasa profundidad, la zona vadosa desaparece, puesto que el agua asciende por capilaridad hasta la superficie.

La zona "agua suelo", es adyacente a la superficie del suelo y se extiende por debajo del mismo a través de la zona de las raíces vegetales. Esta zona es afectada por las condiciones de la superficie del suelo, fluctuaciones estacionales y diurnas, irrigación, precipitación, humedad y temperatura del aire, etc.

La zona que se encuentra debajo de la zona de aireación, debajo de la superficie freática hasta el manto impermeable, se denomina zona de "saturación", en esta zona los poros se encuentran completamente llenos de agua.

En función de las condiciones ambientales, los suelos pueden formarse a una tasa de un centímetro de espesor por cada uno a cuatro siglos, hasta tiempos geológicos. Sin embargo, su manejo inadecuado puede ocasionar su pérdida en pocos años. Por ello, se considera a los suelos como recursos no renovables en la escala humana de tiempo. Según Zinck (2012) un trabajo pionero en enfocar los suelos como unidades de paisaje es el de Fridland, que muestra que los suelos se distribuyen en el paisaje de acuerdo a patrones que conforman la estructura del manto de suelos (geomorfología).

Los suelos son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres, ya que ofrecen el soporte y el suministro de agua nutrientes a los cultivos y la cobertura forestal. Conforman una zona muy delgada (a veces de centímetros de espesor) de la corteza terrestre, formado por material no consolidado en donde interaccionan la atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera. Cumplen funciones como constituir un medio filtrante que permite la recarga de los acuíferos, influyendo de este modo en la calidad del agua, y tienen la capacidad de filtrar, amortiguar, degradar, inmovilizar y destoxificar materiales orgánicos e inorgánicos.

Los perfiles de humedad en el suelo varían durante el año dependiendo si el mismo representa la humedad del suelo en un periodo seco o en un periodo húmedo y si en esos periodos ocurre un evento de precipitación que genere la recarga de humedad en el perfil del mismo.

El levantamiento y cartografía del suelo cuenta con un material de apoyo que es la geomorfología. Las geoformas integran tres de los factores de formación de suelos: la topografía (relieve), la naturaleza del material parental y la edad relativa (morfoestratigrafía). Por lo tanto, el contexto geomorfológico es una herramienta particularmente idónea para la cartografía de suelos y para entender su formación. Schaetzl y Anderson (2005) expresan que la disciplina geomorfología pedológica trata específicamente de las relaciones a doble sentido entre geomorfología y pedología. Estas relaciones emergen del hecho que los suelos se

encuentran fuertemente relacionados con las formas de terreno sobre las cuales se desarrollan.

Según Zinck (2012) se reconocen seis tópicos principales que conforman el dominio de la geomorfología pedológica: (1) los suelos como indicadores de cambios ambientales/climáticos; (2) los suelos como indicadores de estabilidad geomorfológica y estabilidad del paisaje; (3) estudios de génesis y desarrollo de los suelos (cronosecuencias); (4) relaciones suelo-lluvia-escurrimiento; (5) los suelos como indicadores de procesos sedimentológicos y deposicionales actuales y pasados; y (6) los suelos como indicadores de la estratigrafía y de los materiales parentales.

McFadden y Knuepfer (1990) consideran que la relación suelo-forma de terreno es de interacción y retroalimentación mutua. Por ello, Zinck (2012) expresa que cuando mejor se entiendan los suelos, incluyendo la velocidad a la cual operan los procesos de formación y las variaciones relacionadas con su posición en el paisaje, tanto mayor será la comprensión de los procesos que originan las formas de terreno. De igual manera, cuando mejor se comprenda la evolución del paisaje a todas las escalas espaciales y temporales, mejor se pueden dilucidar problemas pedológicos complejos.

Movimiento del agua en cauces y laderas

La cuenca como unidad dinámica natural es un sistema hidrológico en el que se reflejan acciones recíprocas entre parámetros y variables. Las variables pueden clasificarse en variables o acciones externas, conocidas como entradas y salidas al sistema conforman el ciclo hidrológico, siendo estas: precipitación, escurrimiento, evaporación, infiltración, transpiración; y variables de estado, tales como: contenido de humedad del suelo, salinidad, cobertura vegetal, entre otros. Los parámetros, en cambio, permanecen constantes en el tiempo y permiten explicar las características fisiomorfométricas (geomorfológicas) de la cuenca (Ortiz Vera, 2004; Gaspari et al, 2009).

La precipitación al entrar en contacto con el suelo, expresa diversas formas y una variedad de recorridos, dependiendo de la distribución, velocidad y tiempo de llegada del agua a la salida de la cuenca. De este sistema tan complejo depende la respuesta hidrológica de la cuenca frente a una tormenta, por lo tanto su dinámica superficial, generando particularmente el escurrimiento.

El escurrimiento es el flujo de agua superficial causado por una lluvia que cae sobre un suelo ya saturado, o agua subterránea que circula en forma descendente por las laderas de una cuenca hidrográfica hacia un canal de desagüe, o cuando la intensidad de la lluvia es muy superior a la intensidad o capacidad de la infiltración. Se inicia cuando el agua de almacenamiento superficial pasa del estado nulo (al inicio de la lluvia) hasta alcanzar un porcentaje constante en relación a la intensidad de la lluvia y cuando el suelo está saturado. Tanto el porcentaje como la intensidad del escurrimiento derivan de la intensidad de la precipitación.

Sampurno Bruijnzeel (1997) expresa que durante un aguacero el agua que se infiltra puede tomar diferentes rutas hacia el canal de drenaje, dependiendo de la conductividad hidráulica del suelo, de la pendiente y de la distribución espacial de la humedad del mismo. Gaspari et al (2009) expresan que el flujo subsuperficial de saturación (escurrimiento subsuperficial) frecuentemente representa una mezcla de aguas antiguas (el agua que existe antes de empezar la lluvia) y agua nueva que viaja rápidamente a través de macroporos y conductos de flujos preferenciales.

La humedad que permanece en el suelo drena hacia la red hídrica por flujo subsuperficial y de la misma manera lo realiza el agua que percola dentro del suelo hasta una capa impermeable del material parental drenando como flujo lateral conformando el escurrimiento subterráneo que acompaña a la percolación (Gaspari et al, 2009). Como un resultado de contribuciones de los diferentes tipos de escurrimientos, se genera el caudal, que se incrementa rápidamente durante un aguacero. Este incremento hídrico se denomina frecuentemente creciente o flujo de avenidas.

La descarga máxima se denomina comúnmente “flujo o caudal al pico” y se puede alcanzar durante el mismo aguacero o pocos días después dependiendo de las características de la cuenca, de la humedad, como también de la duración, intensidad y cantidad de la lluvia (Dunne, 1978). El movimiento del agua para originar el caudal queda expresado por el flujo superficial (escurrimiento directo) generado por el afloramiento de agua desde el flujo subsuperficial y/o la acción del nivel freático, que ambos pueden estar incrementado por una lluvia. Este escurrimiento puede ser atenuado en cantidad por acción antrópica, por ejemplo la implantación de pozos de extracción de agua, y modificado en calidad por contaminación.

Generación del escurrimiento superficial

La cuantificación del excedente superficial de una lluvia (**escurrimiento superficial**) constituye la base en la planificación del recurso agua, sea para aumentar el proceso de infiltración en el suelo con el fin de mantenerla disponible para los cultivos, como para disminuir los caudales pico generadores de inundaciones por desborde de los cauces.

La integración y cuantificación del total del agua de escurrimiento a la salida de la cuenca determina el caudal (Q), cuya representación gráfica expresada en relación a la variación temporal, constituye el hidrograma. A partir de cuantificar el Q se puede determinar el caudal específico, que expresa la relación de caudal por unidad de área de la cuenca (Gaspari et al, 2009). Es por ello que se han desarrollado diferentes métodos paramétricos que utilizan fórmulas empíricas basadas en datos experimentales que permiten determinar el escurrimiento en las cuencas de recepción (López Cadenas del Llano, 1998).

Los métodos de cuantificación del escurrimiento más utilizados son los paramétricos, que utilizan fórmulas empíricas basadas en datos experimentales. La simplicidad con que se trata el fenómeno en estos casos, hace que los resultados tengan un valor orientativo para períodos de

tiempo suficientemente amplios, siendo desaconsejable su uso con series meteorológicas cortas o incompletas. Cuanto menos factores o parámetros intervienen, más sencilla resulta la fórmula de aplicar, pero ofrece menores garantías (López Cadenas del Llano, 1998).

El Método Racional es uno de los más utilizados para la estimación del Caudal Pico Instantáneo (Q_p) (m^3/s); asociado a determinada tormenta. Se utiliza normalmente en el diseño de obras de drenaje urbano y rural. Se cuantifica mediante el producto de un Coeficiente de escorrentía definido por uso del suelo (C) (tabulado - adimensional); la Intensidad media de la lluvia (I) (mm/hora) y el área de la unidad hidrológica a estudiar (A) (hectáreas) (Chow, 1994). Entre las limitaciones destacadas por algunos autores, se pueden referir:

- Proporciona solamente un caudal pico.
- Supone que la lluvia es uniforme en el tiempo (intensidad constante).
- Supone que la lluvia es uniforme en toda el área de la cuenca estudiada.
- Asume que el escurrimiento es directamente proporcional a la precipitación.
- Ignora los efectos de almacenamiento o retención temporal del agua escurrida en la superficie, cauces, conductos y otros elementos (naturales y artificiales).
- Su uso se limita a cuencas con extensiones inferiores a las 200 ha.

El método de mayor difusión para determinar la lámina de escorrentía superficial es el número de curva (NC), cuando se desea obtener una adecuada aproximación (Kent, 1968). La metodología del NC fue elaborada por el Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service) de Estados Unidos (Gaspari et al., 2009). Es una metodología empírica para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía que surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo y para distintas condiciones de humedad antecedente. El NC presenta valores de $0 \leq NC \leq 100$. A mayor valor de número de curva las condiciones de escorrentía son más críticas, determinando menor infiltración (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010).

El NC se basa en la valoración del escurrimiento superficial de una lluvia aislada, a partir de propiedades estructurales edáficas (Grupo Hidrológico GH), humedad antecedente del suelo y uso de la cobertura del suelo, considerando que cada complejo responde de manera análoga en cuanto al escurrimiento superficial (Chow, 1994; López Cadenas del Llano, 1998; Gaspari et al 2009). Según lo expresado por Kent (1968) el NC estima la abstracción inicial (I_o) de la precipitación, considerada como el 20 % de la máxima retención potencial (S) de cada complejo suelo - vegetación. S se constituye como $[254 \times ((100 \times (NC)^{-1}) - 1)]$.

El exceso de precipitación o escurrimiento superficial (P_e), en función de la precipitación acumulada (P), se estableció con $P_e = (P - I_o)^2 \times [(P - I_o + S)^{-1}]$. Este método determina que el exceso de precipitación (P_e) es nulo hasta que la lluvia exceda la abstracción inicial (I_o).

La determinación del NC, se inicia con la definición y zonificación del Grupo Hidrológico (GH) a nivel de cuenca hidrográfica, el cual expresa las características geológicas y edáficas, zonificando suelos según textura, permeabilidad y escurrimiento. El GH se clasifica según: A) mínimo potencial de escurrimiento, con suelos profundos, con predominio de arena y grava; B) suelos mayoritariamente arenosos; C) manifiesta textura franco-arcillosa; D) suelos

predominantemente arcillosos, con máximo potencial de escurrimiento. Teniendo en cuenta la definición del GH, y conociendo el tipo de cobertura vegetal y/o el uso del suelo presente en la cuenca, se debe establecer una condición de humedad antecedente para dicho estudio, es decir el estado de humedad del suelo previo a la precipitación. La misma se define por tres condiciones básicas, considerando el contenido de humedad del suelo, determinadas en base a una lluvia dentro de los 5 a 10 días previos, denominada seca (I) si es menor a 12,5 mm, media (II) si la precipitación fue entre 12,7 – 38,1 mm y húmeda (III), con valores mayores a 38,1 mm media (II).

El procesamiento geoespacial con SIG de esta metodología de determinación de **Pe**, se realiza por una tabulación cruzada de la cartografía de cada una de las dos variables que la integran (GH y cobertura vegetal) y por aplicando un Modelo Algebraico Cartográfico que soluciona la ecuación de **Pe**.

Otra metodología de determinar el caudal es por medio de modelos hidrológicos informatizados que permiten verificar las observaciones de campo (validación y calibración), donde la modelización se expresa por cálculos matemáticos que reproducen las situaciones analizadas y pueden modelar futuros escenarios. Hay diferentes modelos comerciales disponibles. La elección dependerá tanto de las particularidades de la zona de estudio, como de los datos disponibles y la experiencia del usuario con cada paquete informático. La mayoría de códigos de simulación de flujo incorporan módulos que permiten estimar el estado natural (modelos precipitación-escurrimiento), analizar el caudal de base, y pueden ejecutarse con Sistemas de Información Geográfica asociados.

Erosión hídrica superficial

La cuantificación del escurrimiento superficial es importante en los procesos de erosión hídrica superficial de los suelos, la cual genera fragilidad en los sistemas ambientales.

La degradación del suelo es un proceso inducido por el hombre que disminuye la capacidad actual y futura de este recurso para sostener la vida humana. Según Oldeman (1988), los procesos de degradación de suelos pueden dividirse en dos grandes categorías. La primera se refiere a la degradación del suelo por desplazamiento del material edáfico, por ejemplo la erosión (hídrica y eólica). Una segunda categoría se refiere a la degradación de suelos como resultado de un deterioro interno, in situ. En esta categoría se expresa la degradación química que engloba la pérdida de nutrientes, la contaminación, la acidificación y la salinización; a la degradación física, que abarca el encostramiento, la compactación y el deterioro de la estructura del suelo y finalmente, a la degradación biológica que es el resultado de un desequilibrio en la actividad biótica en el suelo, incluida la pérdida del banco de semillas y microorganismos de importancia en procesos de fertilidad y descontaminación.

La **erosión** en sentido estricto es el desgaste de la superficie terrestre por la acción de agentes externos como el agua o el viento.

La erosión hídrica de suelos, la pérdida de suelos y la acumulación de sedimentos son términos con distintos significados en la tecnología de erosión de suelos. La **erosión hídrica de suelos** es la cantidad bruta de suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia o por escurrimiento. La **pérdida de suelo** es el suelo desprendido de un campo o pendiente determinados, mientras que la **acumulación de sedimentos** es la pérdida de suelos depositada en un punto que está bajo evaluación (Kirkby, 1994).

La **erosión hídrica superficial** consiste en el proceso de disgregación y transporte de las partículas de suelo por la acción del agua superficial. Se establece cuando las gotas de lluvia caen sobre un suelo y tienen la suficiente energía para remover sus partículas, siendo éstas liberadas y transportadas por el escurrimiento superficial hacia las corrientes de drenaje. El ciclo completo culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas se reduce hasta el punto de no permitir el flujo de las partículas de sedimentos previamente incorporadas al mismo (Gaspari et al, 2009).

La **erosión hídrica en profundidad** consiste en la penetración del agua en el perfil edáfico en flujos de suficiente cantidad, capaces de crear condiciones de inestabilidad en el suelo, que propicien su desplazamiento por gravedad. Este tipo de erosión se favorece por la saturación del suelo en áreas de fuertes pendientes, y cuando el agua que se infiltra por un horizonte edáfico permeable, se encuentra con una capa prácticamente impermeable. En este caso, se acumula entre ambos horizontes un flujo de escurrimiento, que dependiendo de la pendiente del terreno puede llegar a crear un desequilibrio tal, que ponga en movimiento el perfil del suelo situado encima del estrato impermeable, denominado deslizamiento de suelo (Gaspari et al, 2009).

Las principales formas de erosión en superficie son la laminar, en regueros y/o cárcavas y en barrancos. La erosión laminar se expresa como la remoción de capas delgadas de suelo, extendidas con relativa homogeneidad dentro de la superficie. Se la considera como altamente perjudicial ya que determina grandes aportes de sedimentos en los cursos de agua, además de afectar a las partículas finas de la tierra, empobreciendo así la fertilidad del suelo. Generalmente suele ser difícil de detectar su presencia, manifestándose a través de los siguientes síntomas: plantas con sistema radical descubierto, presencia de montículos en el suelo, pedregosidad e invasión de especies específicas de suelos degradados.

La erosión en regüeros y cárcavas es generada por el arrastre de elementos terrosos producido al correr el agua por la superficie del suelo, con la consecuente formación de surcos o regueros orientados más o menos normalmente a las curvas de nivel. Si bien se encuentran asociados a las irregularidades y desniveles del terreno, se ve favorecida por las tormentas de gran intensidad. Al ser fácilmente identificables, permiten la implementación de medidas correctivas a su debido tiempo.

Los barrancos se evidencian como profundas incisiones en el terreno. Se originan generalmente, cuando existe una gran concentración de escurrimiento en una zona determinada, posteriormente a la erosión laminar y en regueros, pero también pueden surgir como producto en un solo evento pluvial de características torrenciales. Sus perfiles pueden tener forma de U o V, dependiendo de la consistencia que presente el suelo a lo largo de sus horizontes.

El estudio de la potencialidad erosiva adquiere especial importancia en el diagnóstico en cuencas hidrográficas, debido a las notables pérdidas de suelo que producen las prácticas culturales agrícola-ganaderas.

La expresión matemática reconocida mundialmente, que expresa la cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial fue generada por Wischmeier y Smith (1978), en el Servicio de Conservación de Estados Unidos, la cual se denomina Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, representada por la sigla USLE ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). La misma está representada por el producto de los siguientes factores:

R índice de erosión pluvial o factor de erosionabilidad de los aguaceros: se define como el producto de la energía cinética de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos. Expresa la fuerza erosiva de una determinada lluvia y representa la potencia del aguacero para erosionar superficialmente el suelo. La unidad de medida es ($\text{J}\cdot\text{cm}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$).

K erodabilidad del suelo: es un indicador cuantitativo de la aptitud o resistencia que poseen los suelos a la erosión. Refleja la acción combinada de distintas propiedades como la permeabilidad, contenido de materia orgánica, textura y estructura. Se expresa en ($\text{Mg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}$).

L longitud del declive: se define como la relación entre la pérdida de suelo para una longitud determinada y la pérdida para una longitud de 22,1 metros del mismo tipo de suelo. La longitud se define como la distancia desde el origen de la escorrentía superficial hasta el inicio del depósito de sedimentos, o que la escorrentía se concentre en un cauce. Adimensional.

S gradiente de pendiente: es la relación entre las pérdidas para una pendiente determinada y las pérdidas para una pendiente del 9%, del mismo tipo de suelo. Adimensional.

C cultivo y ordenación: expresa la relación entre las pérdidas de suelo en un terreno cultivado o con vegetación en condiciones específicas y las pérdidas correspondientes a una parcela, en idénticas condiciones de lluvia, suelo y topografía, pero sometida a barbecho continuo. Adimensional.

P prácticas de conservación del suelo: es el factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo y abarca la relación entre las pérdidas de suelo para diferentes labores conservacionistas, y las correspondientes a un cultivo en surcos según la máxima pendiente, a igualdad de los restantes factores lluvia, suelo, topografía y vegetación. Adimensional.

La aplicación de la USLE se aplica para cuantificar la pérdida de suelo anual, obtener estimaciones de la pérdida de suelo para determinar las prácticas óptimas y necesarias, predecir el cambio en las pérdidas de suelo que resultaría de un cambio en las prácticas de conservación y seleccionar e identificar sistemas de cultivo y prácticas de conservación para suelos y pendientes específicas, entre otros.

La USLE se puede realizar con apoyo de sistemas de información geográfica definiendo los valores de cada factor como una base temática, implementado el rango de valores expresado en tolerancia por la FAO-PNUMA-UNESCO (1981), para la representación cartográfica final.

Esta determinación de los sedimentos provenientes de los procesos de erosión laminar se puede estimar por medio de la zonificación de cada uno de los parámetros de la USLE, a partir de una base de datos digital georreferenciada, elaborada a partir de datos de verdad terrena y antecedentes disponibles.

La pérdida de suelo admisible máxima con un grado de conservación es la que permite mantener una producción económica similar, con los medios técnicos disponibles en la actualidad. Esta tolerancia a la pérdida de suelo es la cantidad de tierra que, expresada en Mg por unidad de superficie y año, puede perder un perfil edáfico manteniendo su nivel de productividad actual durante un largo periodo de años. Los límites de pérdidas que se pueden tolerar se suelen tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Es preciso mantener un espesor adecuado del suelo favorable para la producción agrícola y forestal durante largo tiempo. Se debe considerar el efecto de la erosión sobre los rendimientos de los cultivos.
2. Las pérdidas deben ser menores que aquellas que provocan la formación de surcos y cárcavas, y causarían un considerable aterramiento en los cauces de desagüe, cunetas de caminos, etc.
3. Las pérdidas no deben llegar al punto de que por erosión o aterramiento las semillas de cultivos corran el riesgo de perderse.

Según Wischmeier, las pérdidas de $12,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ son admisibles (tolerables) como máximo en un suelo profundo, de textura media, permeabilidad moderada y con un subsuelo favorable para la vida de las plantas (López Cadenas del Llano, 1998).

Según Hudson, para suelos arenosos profundos son admisibles pérdidas de entre 4 a 6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y en suelos francos en un rango entre 13 y 15 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. En general, para suelos agrícolas alcanza valores de 4 a 6 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$, en suelos arenosos poco profundos de 6 a 8 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$; en suelos areno-arcillosos; y de más de $12,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ para suelos francos, profundos y fértiles (López Cadenas del Llano, 1998).

Finalmente, para poder cuantificar la tolerancia de pérdidas de suelos para situaciones de cultivos en sitios fértiles y profundos, se estima en pérdidas de 0,5 mm del perfil edáfico superior por año. Por lo tanto admitiendo que el peso específico del suelo es de $2 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, las pérdidas se evalúan $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ (Vich, 1989; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

Esta cifra es normalmente superada, siendo frecuente que se sitúe entre 17 a 20 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ en zonas agrícolas de alta potencialidad y aplicándose una elevada tecnología agraria.

La evaluación de tolerancia de pérdidas de suelo en un terreno es un factor básico para la implementación de un modelo de ordenación territorial (López Cadenas del Llano, 1998).

Daños por erosión, sedimentación e inundaciones

El agua puede transportar partículas cuyo tamaño y cantidad depende de la velocidad del caudal: cuanto mayor es ésta mayores son las partículas y la cantidad de sedimento acarreada.

Cuando la carga de partículas es excesiva para un caudal cualquiera, se depositan y causan sedimentación. Por el contrario, si la carga es inferior a la capacidad de transporte del agua, las partículas causan erosión y socavones (Welcomme, 1980).

La sedimentación es un fenómeno natural a lo largo de los ríos y normalmente da por resultado una clasificación por tamaño de las partículas desde los ríos de orden inferior con los materiales más gruesos, hasta los de orden superior con los más finos. Esta sedimentación natural contribuye a la creación de muchas características morfológicas de los ríos, comprendidos diques, bancos, meandros y, particularmente, tierras de inundaciones.

La sedimentación natural queda compensada por la erosión, que crea un estado de equilibrio para cualquier régimen de inundaciones. Dentro de este equilibrio hay una sucesión o envejecimiento de características de las tierras inundadas que dan por resultado que las lagunas o canales viejos se llenan gradualmente de sedimentos y vegetación, que serán substituidos por otros nuevos producidos por la erosión y la socavación. La sedimentación guarda estrecha relación con la aparición de vegetación emergente. Los lugares de depositación son colonizados por plantas superiores que retardan aún más la corriente y estimulan una sedimentación más rápida. La erosión se presenta donde la corriente se acelera localmente, por ejemplo, en la curva exterior de un meandro o en el borde exterior de un terreno inundado adyacente a la pared del dique. El sedimento también lo levanta el agua de los lugares donde ella misma lo ha depositado, por ejemplo, al pie de las presas (Welcomme, 1980).

El aumento de la carga de sedimento resultante de los cambios en el uso de la tierra o del agua acelera la evolución natural del sistema fluvial, pero al hacerlo plantea varios problemas. Los sedimentos ofrecen sujeción a la vegetación, bloqueando los ríos de bajo orden e incluso desviándolos por nuevos cauces. Más aguas abajo, los sedimentos que se depositan en las orillas y en el fondo del río pueden dar por resultado la evaluación gradual de todo el canal, hasta que queda por encima de la tierra que lo rodea. Una gran riada en un canal que esté en tal situación, puede hacer que se rompa la orilla y que el río se salga de madre para encontrar un canal nuevo, desviando el cauce algunos kilómetros en ocasiones (Welcomme, 1980; Gaspari et al, 2009).

La sedimentación excesiva en las llanuras anegadizas hace desaparecer las aguas permanentes con más rapidez que la erosión puede crear nuevas. De la misma manera, se ciegan los canales y brazos muertos del río y aparecen tantos canales nuevos que todo el delta de un río puede desplazarse a lo largo de la costa, y generar grandes inundaciones. Al mismo tiempo, las tierras de inundación del delta costero crecen rápidamente, especialmente hacia el mar, donde aparece constantemente tierra nueva.

La sedimentación puede repercutir negativamente en los depósitos de agua, los cursos de agua, los sistemas de irrigación y las zonas costeras, con efectos nocivos para la biología acuática, la producción de peces y la biodiversidad. Las relaciones entre la tasa de erosión y la cantidad de sedimentos que transportan los ríos son complejas y depende de la escala geográfica en cuestión. La erosión y la sedimentación varían mucho de acuerdo con las condiciones geológicas, climáticas y de otros tipos. Está demostrado que las prácticas agrícolas y de uso de las tierras pueden

producir considerables efectos en la tasa de erosión. Los cambios producidos en la cubierta vegetal de bosque a uso agrícola, por ejemplo, incrementan la erosión del suelo, mientras que las buenas prácticas agrícolas la reducen (FAO, 2007).

El efecto de las prácticas de uso de la tierra en el volumen general de sedimentos en las grandes cuencas fluviales es muy difícil de evaluar. La mayor parte de la carga sólida de un río se origina en lugares específicos de la cuenca hidrográfica, y llega al río durante las tormentas y otros fenómenos meteorológicos extremos. El desplazamiento de los sedimentos a la cuenca fluvial es relativamente lento. Durante la vida útil de un embalse, una cantidad muy reducida de sedimentos de la cuenca alta recorre más de 100 a 200 kilómetros. De esta manera, todo efecto de las prácticas de uso de la tierra en la tasa de sedimentación de un río grande se percibirá sólo después de varios decenios, cuando resulta muy difícil distinguir entre la sedimentación natural y la de origen humano (FAO, 2007).

La degradación tiene una relación directa a la escala de estudio, ya que es probable que el uso de la tierra produzca repercusiones significativas en el régimen hídrico y la disponibilidad de agua sólo en las cuencas muy pequeñas. Conforme éstas son más grandes, los efectos del uso de la tierra en el régimen hídrico se vuelven insignificantes en comparación con los producidos por los factores naturales, como las repercusiones de los acontecimientos pluviales extremos. Sin embargo, también en las cuencas muy grandes el uso de la tierra repercute en la calidad del agua. Por ejemplo, en las grandes cuencas fluviales pueden observarse los efectos acumulados de la contaminación (FAO, 2007). La escala de la cuenca hidrográfica es un factor esencial: mientras más grande es la superficie de la cuenca, más compleja es la interacción entre los intereses socioeconómicos locales y externos, y mayor es la necesidad de reglamentación.

Sistema de clasificación de aptitud de uso de suelos

Las tierras, en un sentido económico, tienen muchos otros atributos como el tamaño de las fincas, la proximidad al agua y a otras tierras, las facilidades de transporte y de mercado (FAO, 1967).

Según FAO (1993) tierra es un segmento de la superficie del globo terrestre definido en el espacio y en función de características y propiedades comprendidas por los atributos de la biosfera, que sean razonablemente estables o cíclicamente previsibles, incluyendo aquellas de la atmósfera, el suelo, el substrato geológico, la hidrología y el resultado de las actividades humanas actuales y futuras hasta el punto que estos atributos tengan influencia significativa en el uso presente o futuro de la tierra por el hombre.

Para ello se debe estudiar y agrupar a los suelos de acuerdo con su mayor o menor adaptabilidad para uno o más usos, requiriendo de una interpretación de las propiedades del suelo (Luzio y Alcayaga, 1992). Cabe aclarar que el uso actual de la tierra indica como se emplea el recurso en el presente, lo cual puede o no coincidir con su vocación o **aptitud** natural para un uso dado. Al expresar y describir los diferentes usos del suelo, conviene distinguir el

aprovechamiento actual de los suelos y por otro el uso potencial, es decir el uso que cada suelo debería tener en función de sus cualidades y de las condiciones ecológicas en que se encuentran, uso que puede coincidir o no, con el que en este momento soportan.

En general, la determinación de la aptitud consiste en establecer la vocación real de la tierra para producir cultivos, pasturas o vegetación con capacidad forrajera durante un lapso prolongado, que se puede realizar según los siguientes criterios:

1. Características de la tierra, consideradas como un atributo que puede medirse (pendiente, profundidad del suelo, contenido de materia orgánica, pH, textura);
2. Calidad de la tierra, definida como la interacción de las características anteriores, como un atributo complejo (drenaje natural, fertilidad, resistencia a la erosión, entre otros);
3. Limitantes, que puede expresarse como una característica o cualidad de la tierra, como una expresión de diagnóstico que afecta adversamente el potencial de la tierra.

Los criterios para evaluar la aptitud de las unidades cartográficas de tierras pueden considerar además las diferentes condiciones agroecológicas existentes, aspecto que tiene mayor relevancia en áreas con aptitud para ciertos cultivos y donde la tradición y experiencia adquirida en la implantación.

En tabla 3.1 se presenta un ejemplo de usos de suelo posibles en una cuenca hidrográfica de la pampa ondulada argentina.

Tabla 3.1: Clasificación de tipos de uso del suelo. Fuente: INTA (1986).

Símbolo	Tipo de uso
A	Tierras dedicadas exclusivamente a la agricultura.
AG	Tierras dedicadas a la explotación agropecuaria extensiva, con predominio de la agricultura sobre la ganadería (en rotaciones).
G	Tierras dedicadas a la explotación ganadera extensiva, con praderas naturales o cultivadas.
GA	Tierras dedicadas a la explotación agropecuaria extensiva con predominio de la ganadería sobre la agricultura (en rotaciones).
M	Áreas misceláneas, lagunas, ciudades, poblados, entre otros.
F	Tierras dedicadas principalmente a la actividad silvícola, incluyendo bosques plantados.
R	Áreas rocosas (serranías, montañas).

Clasificaciones agrohidrológicas de suelos

El uso de la tierra es la utilización del recurso suelo por la actividad humana con fines agrícolas, pastoreo, forestación y otros usos de una manera racional y eficiente.

El diagnóstico y análisis de la distribución de los suelos permite establecer una relación con el uso antrópico, que se modifica espacial y temporalmente según las necesidades de la población. Durang et al. (1998), establecen que la coincidencia de los límites del uso de la tierra con los límites de los tipos de suelo, generalmente es muy baja en áreas con alta presión poblacional. Además que en periodos largos, el uso de la tierra puede tener un gran impacto en el suelo, tanto en forma constructiva o destructiva, la historia de uso de la tierra puede ser reflejada en su parcelación de la tierra.

Por ello, el uso de la tierra implica consideraciones de orden agrohidrológicas y socioeconómico, expresadas por la utilización de la tierra y los conflictos generados de este uso, considerándose dos aspectos importantes uso actual y uso potencial de la tierra, como su **capacidad de uso**. Se entiende por capacidad de uso de la tierra, la capacidad potencial natural de una determinada clase de tierra para prestar sosteniblemente a largo plazo determinados bienes o servicios, incluyendo los de protección y ecológicos.

La capacidad de uso de un sitio proporciona información sobre la presencia de limitaciones o ventajas que presenta un suelo para ser productivo. La clasificación de tierras según su capacidad de uso, se basa en los efectos combinados de clima y las características permanentes de los suelos. La detección y análisis geográfico de la capacidad de uso de la tierra favorecen o no la implantación y producción agrícola, ganadera y/o forestal permitiendo establecer sus efectos sobre el potencial productivo de la región contribuyendo a la disminución del riesgo de la inversión al hacer más eficiente el uso de los recursos suelo y clima significará un estímulo para nuevos emprendimientos productivos en la región.

La Capacidad de Uso (CU) de las tierras ha sido desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (S.C.S.) (Bennett, 1965) como un sistema de clasificación del general. Este comprende tres grandes categorías: Clase, subclase y unidad de Capacidad de Uso, dependiendo de la escala del análisis. El sistema de clasificación de CU distingue ocho clases (señaladas con los números romanos I a VIII), que indican un aumento progresivo de las limitaciones que presentan los suelos para el desarrollo de los cultivos (Bennett, 1965). Las cuatro primeras clases incluyen a los suelos aptos para los cultivos agrícolas, (I-II-III y IV). Las cuatro últimas clases, (V, VI, VII, y VIII), incluyen a los suelos aptos para pastoreo pero no para los cultivos labrados comunes. Existe una gran cantidad de bibliografía que describe estas clases.

La aplicación de CU en una cuenca hidrográfica permite zonificar e interpretar el estado del suelo en condiciones actuales de uso. La misma puede ser cartografiada y procesada con SIG.

CAPÍTULO 4

Biodiversidad y ecosistemas

Gabriela E. Senisterra

Conceptos de Biodiversidad

La Biodiversidad o Diversidad Biológica expresa “la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y la diversidad de los ecosistemas” (Convenio sobre diversidad, 1992). Sin embargo, el uso más frecuente de diversidad biológica en la literatura ecológica es en referencia a la riqueza o número de especies, aunque hoy en día se incluyen también todos los niveles de organización biológica desde la genética hasta el paisaje (Rodríguez, 2005).

Estas diversas formas de interpretación del término biodiversidad establece que cuando se planteen estrategias de conservación de especies sea necesario establecer cuál es el objetivo a realizar, por ejemplo: si sólo es conservar el número de especies, el número de ecosistemas o si se va a incluir el conservar las interacciones entre los individuos de manera que los ecosistemas se conserven lo más intactos posibles. Aún así, los ecosistemas son procesos vivos en el tiempo que varían siempre, es decir: no son estáticos.

Existen tres tipos de biodiversidad: la **diversidad alfa** es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que se considera homogénea; la **diversidad beta** es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje; y la **diversidad gamma** es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta (Whittaker, 1972).

Los métodos que se utilizan para evaluar la diversidad de especies en general, se refieren a la diversidad dentro de las comunidades (alfa). Los mismos se pueden dividir en aquellos que cuantifican el número de especies presentes (riqueza específica) y aquellos que evalúan la distribución proporcional del valor de importancia de cada especie (abundancia relativa de los individuos, su biomasa, cobertura, productividad) (Moreno, 2001).

La biodiversidad determina las interacciones entre los seres vivos, las cuales son extremadamente complejas y es la que garantiza el equilibrio de los ecosistemas de todo el mundo. Actualmente se calcula que la biodiversidad está sufriendo una veloz reducción, como

consecuencia de una elevada tasa de extinción de especies. Esta situación estaría relacionada al accionar del ser humano, y se la atribuye, entre otras cosas, a la contaminación del aire, agua y suelo, la conversión de hábitats naturales en tierras de agricultura, ganadería intensiva, urbanización y minas, degradación de ambientes y desertificación, entre otras acciones antrópicas (Rauber, 2013). La disminución de la biodiversidad afecta a las especies y a las relaciones entre las especies y el medio ambiente en el que viven. Un ejemplo son los incendios forestales que generan derivas génicas que modifican, en forma aleatoria la composición genética de la nueva generación, y las prácticas de deforestación para habilitar tierras de cultivos, pues provocan la eliminación de la cubierta forestal sustituyéndola por nuevas especies cultivadas.

Importancia de la conservación de la biodiversidad

Los ecosistemas naturales han sufrido importantes transformaciones debido a las actividades agropecuarias que puedan realizarse en esos ambientes. En estos procesos de cambio se presentan conflictos de intereses entre la producción y la conservación del ecosistema. Generalmente la sociedad demanda que no solo se vea el ecosistema para la producción de alimentos sino también se tengan en cuenta otros servicios como los ecológicos, turísticos, de uso de la flora y la fauna y de conservación. Estos aspectos están contenidos en lo que se conoce como **servicios ambientales** de los ecosistemas.

En ese contexto, la **conservación de la biodiversidad** surge como una prioridad global debido principalmente a que la sociedad ha tomado conciencia y comienza a demandar por la importancia vital que tiene como sustento para la producción de alimentos, fibras, medicinas y otros usos y como base para el desarrollo humano a través de la distribución de los beneficios que derivan de sus usos (Zaccagnini, 2010).

La producción agropecuaria está apoyada íntegramente en recursos de la biodiversidad en sentido estricto, usando especies, variabilidad genética (plantas y animales, microorganismos), paisajes y ecosistemas. La **viabilidad** de las especies y la **sostenibilidad** de sus usos, dependen en gran medida de la integridad ecológica y funcional de los sistemas biológicos en los cuales viven, en cualquiera de las escalas espacio-temporales que se consideren (sitios, paisajes, ecosistemas), y de los mecanismos y estrategias de conservación que se implementen (Zaccagnini, 2010).

La conservación de la biodiversidad se debe promover en todos los ambientes del territorio (bosques, monte, pastizales naturales, entre otros) incluidos los paisajes agrícolas donde el hombre realiza actividades para los diferentes tipos de producciones. La conservación de los ecosistemas que llevan a cabo los parques y reservas nacionales y provinciales no alcanza por sí solos para proteger la biodiversidad de una región. Además, las actividades agropecuarias establecen una dinámica de cambios en los ecosistemas, producto de las demandas de los mercados, del tipo de actividades productivas que se desarrollen en la región y el manejo de

plagas de los cultivos que modifican la diversidad tanto de especies animales, vegetales y microorganismos naturales, así como el diseño del paisaje agrícola, simplificándolo a los límites del monocultivo. Zaccagnini (2011) expresa que esta homogeneización exagerada pone en riesgo la producción de bienes y servicios ecosistémicos y eventualmente, la funcionalidad del mismo sistema ecológico de base para la producción de cultivos, ganados y otros tipos actividad agropecuaria.

Según Zaccagnini (2011), la conservación de la integridad funcional de los agroecosistemas es vital para el mantenimiento de la **capacidad adaptativa** y la **resiliencia** en los sistemas productivos, frente a una gran cantidad de presiones externas tales como la contaminación, el cambio climático u otros factores de presión ambiental. El abordaje tanto de las amenazas como de las oportunidades que surgen de la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad requiere, por un lado, de un adecuado conocimiento de la misma, su funcionalidad, y vulnerabilidad, así como de abordajes integrados que permitan minimizar, mitigar y restaurar las pérdidas que garanticen los servicios ecosistémicos que la biodiversidad presta a la sociedad en su conjunto y a la agricultura en particular

Estudios realizado por la FAO determinaron que la producción de alimentos tendrá que aumentar en un 50 % hacia el año 2030 para poder alimentar a una población de aproximadamente 9.000 millones de personas. Esto significa que la producción agropecuaria se verá intensificada para aumentar sustancialmente la producción. Esto conlleva a realizar prácticas de cultivo apropiadas para cada sitio que permita el uso sustentable de los recursos. La mayor demanda de producción de cultivos para alimentos, fibras y productos agrícolas no alimentarios (especialmente, cultivos para bioenergía) junto con los impactos de la variabilidad del clima y el cambio climático obliga a replantearse los sistemas agrícolas para adaptarlos a las nuevas demandas. En este contexto la **conservación de la diversidad biológica** para la alimentación y la agricultura como su uso sostenible son necesarios para proporcionar alimentos, mejorar la situación económica, social y medioambiental de las personas y satisfacer las necesidades de las generaciones futuras, especialmente las personas pobres del medio rural (FAO, 2015).

Pautas para la conservación de la biodiversidad en el marco del ordenamiento agrohidrológico

Actualmente existe una tendencia hacia prácticas de cultivo que no dependan tanto de insumos tradicionales (plaguicidas y fertilizantes) que degradan los suelos y los recursos hídricos. Se trata de prácticas que intensifican la diversidad biológica, que aprovechan la riqueza de la biodiversidad y los recursos naturales para proporcionar servicios ecosistémicos. El buen funcionamiento de los mismos a través de enfoques ecosistémicos permitiría optimizar la producción agrícola de manera sostenible.

La conservación de la biodiversidad genera la provisión continua de bienes y servicios en las áreas productivas (FAO, 2015). Entre los aspectos que se deben destacar se encuentra:

- La diversidad genética que es la variabilidad que permite el mejoramiento genético de las especies y su evolución. Sin variabilidad genética es imposible lograr aumentos en la producción agrícola, ganadera y forestal.
- La **biodiversidad de los suelos** está íntimamente relacionada con el almacenamiento y reciclado de nutrientes.
- La **diversificación de los pastizales y cultivos forrajeros** permite que las actividades que integran al ganado con los cultivos sean más sostenibles porque proporcionan oportunidades de diversidad de rotación, cultivo perenne y mayor eficiencia energética. La introducción de animales que pastan en ciertos momentos de los ciclos agrícolas puede ayudar a triturar los residuos vegetales e incrementar la disponibilidad de nutrientes.
- El **manejo integrado de plagas** (enfermedades, insectos y malezas) tiene en cuenta el hábitat de las mismas y la dinámica poblacional de las especies utilizadas, que mantiene en niveles mínimos a las plagas y que no originen daños al medio ambiente. Utiliza información actual y completa sobre los ciclos de vida de las plagas y sus interacciones con el ambiente. Esta información, combinada con los métodos de control disponibles, permite manejar el daño ocasionado por las plagas en forma más económica, y con el menor riesgo posible para las personas y el medio ambiente.
- Otro aspecto importante que posibilita que exista variabilidad es la presencia de **agentes polinizadores** en los agroecosistemas porque son fundamentales en la dispersión del polen, asegurando una adecuada polinización en las plantas frutales, en las huertas y en las especies forrajeras.
- La **recarga de acuíferos** se ve afectada por los cambios en el uso del suelo producido por actividades antrópicas (deforestación, cambios en los flujos superficiales o subterráneos) o fenómenos naturales (climáticos, geológicos). Éstos provocan efectos negativos sobre la recarga a los acuíferos y el funcionamiento de los ecosistemas de las aguas subterráneas. Generalmente los cambios observados en la actualidad son producto de las actividades ocurridas hace décadas o siglos, asimismo, lo que hoy ocurra en los ecosistemas relacionados con los cambios en la cobertura del suelo redundarán en lo que ocurra con los acuíferos dentro de décadas.

La conservación de la biodiversidad permite mantener la accesibilidad futura a los **bienes y servicios** que brindan los ecosistemas. De esta manera las generaciones futuras tendrán las mismas posibilidades de uso y disfrute de la naturaleza que existe actualmente. Esto es lo que se conoce como **sustentabilidad** del manejo de los ecosistemas y recursos naturales. Para que el manejo de un ecosistema sea sustentable a largo plazo, se debe mantener su capacidad productiva y el bienestar de las comunidades asociadas a él (Rush et al, 2008)

En la medida que la demanda creciente de alimentos se imponga, el funcionamiento adecuado de los ecosistemas asegurará una agricultura sustentable. La biodiversidad para la

alimentación y la agricultura se puede gestionar para mantener o reforzar las funciones ecosistémicas y proporcionar opciones para la optimización de la producción agrícola, y para contribuir a la resiliencia de los ecosistemas para reducir los riesgos. De hecho, la biodiversidad refuerza los servicios ecosistémicos porque los componentes que parecen redundantes en un momento pasan a ser importantes cuando se producen modificaciones.

Valoración de la biodiversidad como servicio ambiental

La evaluación de los ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment) es un programa de trabajo internacional, diseñado para satisfacer las necesidades que tienen los responsables de la toma de decisiones y el público en general de información científica acerca de las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las opciones para responder a esos cambios. Expusieron las siguientes recomendaciones sobre la Biodiversidad y los ecosistemas:

- La diversidad biológica beneficia a los pueblos no meramente por su contribución al bienestar material y a los medios de vida. Contribuye a la seguridad, la resistencia al cambio, las relaciones sociales, la salud y la libertad de opciones y de acción.
- Los cambios de la diversidad biológica debidos a actividades humanas fueron más rápidos en los últimos 50 años que en cualquier otro momento de la historia de la humanidad, y los impulsores del cambio que llevaron a la pérdida de la diversidad biológica y a cambios en los servicios de los ecosistemas son permanentes, o no muestran ningún indicio de declive en el transcurso del tiempo, o aumentan de intensidad
- Muchos pueblos se han beneficiado en el pasado siglo de la conversión de ecosistemas naturales a ecosistemas dominados por el hombre y de la explotación de la diversidad biológica. Al mismo tiempo, sin embargo, se ha logrado estas ganancias a un costo cada vez mayor en forma de pérdidas de la diversidad biológica, degradación de muchos de los servicios de los ecosistemas, y empeoramiento de la pobreza para otros grupos de personas o pueblos.
- Los más importantes impulsores directos de la pérdida de la diversidad biológica y de los cambios en los servicios de los ecosistemas son el cambio de los hábitat (tal como cambios de la utilización de los terrenos, modificación material de las cuencas hidrográficas, retiro de agua de los ríos, pérdida de arrecifes de coral, y daños al lecho del mar por razón de la pesca de arrastre), el cambio climático, las especies exóticas invasoras, la explotación excesiva y la contaminación.
- Mejores técnicas de valoración e información acerca de los servicios de los ecosistemas demuestran que muchos individuos se benefician de la pérdida de la diversidad biológica y del cambio de los ecosistemas, pero que los costos que asume la sociedad por tales cambios son frecuentemente mucho mayores.

- Para alcanzar un mayor progreso en lo que atañe a la conservación de la diversidad biológica con miras a mejorar el bienestar humano y reducir la pobreza, será necesario intensificar las opciones de respuesta que hayan sido concebidas con la meta primaria de la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica y de los servicios de los ecosistemas. Sin embargo, estas respuestas no serán suficientes a no ser que se dirijan a los impulsores indirectos y directos del cambio y que se establezcan las condiciones favorables para la implantación de toda la serie de respuestas.
- Los objetivos y metas a corto plazo no son suficientes para la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica y de los ecosistemas. Dados los tiempos característicos de respuesta para los sistemas políticos, socioeconómicos y ecológicos, los objetivos y las metas a más largo plazo (año 2050) son necesarios para guiar la política y la acción.
- Una mejor capacidad para predecir las consecuencias de cambios en los impulsores para la diversidad biológica, el funcionamiento de los ecosistemas, y los servicios de los ecosistemas, junto con mediciones mejoradas de la diversidad biológica ayudarían a la adopción de decisiones a todos los niveles.
- La ciencia puede ayudar para que se adoptan decisiones basándose en la mejor información disponible, pero en última instancia será la sociedad la que determine el futuro de la diversidad biológica.

En la República Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) está llevando adelante, abordajes innovadores para estructurar las decisiones hacia esquemas de gestión y manejo adaptativo. Se busca que la aplicación de políticas genere opciones mejoradas para alcanzar un manejo ambiental que incorpore la biodiversidad, su conservación y uso en forma sostenible. Estas metas son consideradas como hipótesis de investigación y se genera un ciclo de aprendizaje dinámico participativo a partir de los resultados de programas operativos a campo. Su forma más efectiva es el manejo adaptativo “activo” que implementa ciclos dinámicos de acciones de manejo-diagnóstico-evaluación diseñados para comparar experimentalmente las políticas o prácticas seleccionadas, evaluando hipótesis alternativas acerca del sistema bajo gestión o manejo (Zaccagnini, 2011).

Tomando en consideración lo expresado sobre la biodiversidad y los ecosistemas es necesario recalcar la importancia de la variabilidad y su conservación para que los recursos naturales, que son finitos y que el hombre con sus acciones modifica en forma permanente, permanezcan en el tiempo para su utilización en forma sostenible.

CAPÍTULO 5

Servicios ambientales (SA)

María Isabel Delgado

Antecedentes

El análisis de los servicios o beneficios que proveen los ecosistemas a las sociedades humanas representa un enfoque de investigación relativamente reciente que se ha difundido gracias a que establece un vínculo explícito entre el bienestar humano y el adecuado funcionamiento de los ecosistemas (Balvanera et al, 2010).

La búsqueda de alternativas para enfrentar la problemática ambiental ha llevado al reconocimiento de la estrecha dependencia que existe entre las características y los procesos de los ecosistemas y de aquellos propios de las sociedades humanas. En este contexto, al abordar el concepto de servicios ecosistémicos (SE) hacia la sociedad, se enfatiza la interdependencia que existe entre sistemas ecológicos y sistemas sociales.

A nivel internacional, el concepto de servicios ecosistémicos (SE) es el más extendido, principalmente en la literatura relacionada con ecología, mientras que la literatura económica utiliza en mayor medida el término de servicios ambientales (SA). Cabe señalar que, aún con la confusión conceptual que puedan tener los actores que hacen uso de herramientas como el pago por servicios ambientales, lo importante para ellos es proteger los recursos naturales y recibir el reconocimiento económico por la conservación de los bosques, indistintamente del término en particular para designar el servicio que brindan (Roy Mora Vega, 2012). Es posible afirmar que existe una definición de servicios ecosistémicos (SE) ampliamente reconocida a partir del trabajo realizado por el MEA (2005), aunque algunas legislaciones, identifican y enumeran diversos aspectos que están considerados como SA. Pese a ello, a nivel académico no está establecido de forma clara y definitiva el límite entre uno y otro, siendo recurrente en la literatura el uso indiscriminado de ambos términos (Roy Mora Vega, 2012).

La investigación científica alrededor de los SE requiere de marcos conceptuales interdisciplinarios que permitan estudiar sistemas complejos como son las interacciones entre sociedades y ecosistemas. Se debe entender que no se trata sólo de la suma de conceptos, enfoques y metodologías derivados tanto de las ciencias naturales como de las ciencias sociales los que permiten analizar sistemas complejos, sino más bien su integración dialéctica y el entendimiento de que las propiedades de estos no resultan de la suma de las propiedades de sus componentes.

Ante la gravedad de la problemática ambiental se ha desarrollado un creciente cúmulo de marcos conceptuales interdisciplinarios a nivel global para el estudio de los vínculos entre los ecosistemas y las sociedades. Sin embargo su aplicación al caso particular de América Latina se ve limitado debido a que muchos de estos marcos han sido desarrollados en contextos ecológicos y sociales distintos a nuestra realidad. Al adoptar modelos de ciencia derivados de los países industrializados puede producirse una desviación entre la investigación y las necesidades y características propias de la región.

Desde 1960, la mayoría de los países latinoamericanos registraron un crecimiento económico acelerado, asociado a la exportación de productos primarios, a la par de un endeudamiento externo creciente. Durante los '80s, la caída de los precios internacionales del petróleo, el incremento en las tasas internacionales de interés, los desequilibrios macroeconómicos y las presiones inflacionarias marcaron la década del estancamiento económico. Años más tarde, las reformas de ajuste estructural y la liberalización comercial llevaron a la pérdida del proteccionismo en la agricultura y a una fuerte reducción del financiamiento gubernamental en ese sector, con un adelgazamiento extremo de las inversiones públicas con fines de desarrollo social, y la falta de priorización en política ambiental. Esto provocó una profunda crisis agrícola y ecológica, y trajo aparejadas tasas migratorias elevadas.

Este deterioro se hace evidente debido a la veloz transformación de los ecosistemas, principalmente los boscosos (tropicales y templados), para convertirlos en zonas agrícolas y ganaderas, y satisfacer tanto la demanda interna como la de las exportaciones. La región perdió casi 50 millones de hectáreas de bosques, que representa los niveles de deforestación más altos del mundo, y ha conducido a la pérdida de una enorme biodiversidad asociada. La urbanización creciente está transformando de manera radical tanto las estructuras sociales (en particular, las indígenas y las campesinas) como los ecosistemas, y América Latina (AL) es la región más urbanizada del tercer mundo (PNUMA, 2007). El estudio de las interacciones entre las sociedades y los ecosistemas en AL deberá tomar en cuenta su alta diversidad ecológica y social, el impacto de las reformas de ajuste estructural y la liberalización económica, las transformaciones agrícolas que han llevado a la especialización productiva para el mercado externo, y el profundo deterioro ecológico y social de la región.

Conceptos y enfoques teóricos de servicios ambientales

Los ecosistemas presentan limitaciones para brindar simultáneamente y a la máxima tasa posible los distintos tipos de bienes y servicios requeridos por la sociedad. Cuando se programa o planifica el sistema agropecuario para maximizar la producción de bienes y beneficios económicos en el corto plazo se afecta la provisión de servicios intangibles y el bienestar socioeconómico regional en el mediano a largo plazo. De este modo, los sistemas agropecuarios pueden considerarse una "eco-industria" capaz de proveer múltiples bienes y

servicios para el desarrollo sustentable de la sociedad. Pero si la presión ejercida por el hombre supera las capacidades de adaptación y regeneración, deberá adaptar sus estructuras y funciones a las nuevas exigencias, que en el largo plazo impactará negativamente sobre las necesidades de la población (INTA, 2010).

Los ecosistemas y los agroecosistemas tienen homogeneidad, a la vez que poseen una especificidad propia. La principal diferencia entre los agroecosistemas y otro tipo de ecosistemas, es la participación del hombre. La salud del agroecosistema es una condición ideal en los procesos de variación espacio-temporales. El manejo de los agroecosistemas es un concepto costoso, basado en el completo entendimiento de la composición, estructura y procesos de funcionamiento, combinando disciplinas como agroecología, economía y sociología para realizar una estrategia adaptativa de manejo con el fin de una utilización sustentable de los recursos, y restaurar o mantener la integridad de los agroecosistemas con alto grado de biodiversidad y sustentabilidad (Zhu et al, 2012).

Para reforzar la resiliencia de los agroecosistemas y por tanto su capacidad para afrontar perturbaciones con efectos catastróficos, es esencial el mantenimiento de algunos procesos ecológicos básicos, como son la formación de un suelo funcional, con actividad orgánica y acumulación de humus estable, el papel de los herbívoros en la eliminación del exceso de biomasa combustible y el manejo de un nivel adecuado de biodiversidad/complejidad estructural en la gestión forestal. El abandono y degradación de infraestructuras de terrazas y bancales, es un factor desencadenante de erosión con efectos catastróficos.

El término **agroecosistema** refiere a cualquier tipo de ecosistema modificado y gestionado por los seres humanos con el objetivo de obtener alimentos, fibras y otros materiales de origen biótico. Incluye también los sistemas ganaderos extensivos, con presencia o no de árboles; buena parte de los cuales mantienen usos mixtos y pueden calificarse como agrosilvopastorales. El papel e importancia de los seres humanos, tanto como especie biológica -consumidor, trasiego de energía y materiales- como en su vertiente cultural (entidad cultural), en la estructura y funcionamiento de los agroecosistemas es consustancial e ineludible. En este sentido, determinadas versiones tradicionales de la agricultura (entendida como actividad agraria, e incluyendo por tanto la ganadería y el aprovechamiento forestal) y sus opciones más actuales (ecológica, cooperativas de consumo orgánico, etc.) que se plantean como alternativas al dominio de la industria agraria, deben verse también como una opción de vida, abierta a una relación más directa con los procesos de producción naturales, al manejo de la productividad primaria y la agrobiodiversidad (Gómez Sal, 2012).

La importancia del **paisaje** para una localidad es tal que los organismos, públicos o gubernamentales, deberían poner en marcha acciones que permitan controlar el impacto ambiental que ciertos planes o proyectos ocasionan sobre el paisaje, especialmente cuando se trata de tomar decisiones frente a propuestas de instalaciones industriales o facilidades públicas como caminos y alcantarillados. El paisaje se entiende como un territorio heterogéneo compuesto por un conjunto de ecosistemas en interacción que se

repiten de forma similar. Esta aproximación al paisaje asume el concepto de paisaje total, al identificar al paisaje con el medio y definirlo por la combinación de determinados ecosistemas, sus interacciones, la geomorfología y el clima, la perturbación que los afecta y la abundancia relativa de los ecosistemas combinados. La visión del paisaje total está encaminada, por lo tanto, a considerar al paisaje como indicador o fuente de información del territorio. El paisaje es un recurso fácilmente despreciable y difícilmente renovable, por lo que merece especial consideración al momento de evaluar impactos ambientales negativos en un proyecto determinado. En la actividad silvícola con monocultivo de especies exóticas en grandes extensiones, su impacto negativo ya ha sido documentado por diversos autores. El estudio del paisaje debe ser considerado dentro de la dimensión física de la planificación (Muñoz-Pedrerros, 2004).

La comprensión de la relación entre la provisión de servicios ecosistémicos y la diversidad de los paisajes rurales adquiere particular relevancia frente a tendencias uniformizantes, particularmente aquellas impulsadas por procesos de intensificación y expansión de la frontera agrícola. Los paisajes rurales heterogéneos o diversos, potencialmente proveen una serie de beneficios más completa, balanceada y complementaria que los paisajes uniformes (Latterra, 2010).

Tipos de servicios de los agroecosistemas

La relación que existe entre la provisión de servicios ecosistémicos y la diversidad de los paisajes rurales establece que si la pérdida de servicios de regulación que acompaña a la expansión de la agricultura varía en forma lineal, se posibilita la implementación de manejos adaptativos, o si por el contrario, es posible reconocer niveles de transformación del paisaje, umbrales, a partir de los cuales la provisión de servicios de regulación decae abruptamente dando lugar a “sorpresas” de alto impacto y escasa reversibilidad (Latterra, 2010).

Estos SE pueden ser variados. En la tabla 5.1 se presenta una clasificación de los tipos de SE, traducido de la clasificación original de De Groot et al (2010).

Tabla 5.1. *Tipología de Servicios Ecosistémicos.*
Adaptación y traducción a partir de De Groot et al. (2010).

Tipo de Servicios	Ejemplos
SERVICIOS DE PROVISIÓN	
Alimento	Peces, frutas.
Agua	Para consumo humano, para riego
Materias primas	Fibras, madera, fertilizantes.
Recursos genéticos	Para mejora de los cultivos y uso medicinal.
Recursos medicinales	Productos bioquímicos,
Recursos ornamentales	Trabajos artesanales, plantas decorativas, mascotas.

Tipo de Servicios	Ejemplos
SERVICIOS DE REGULACION	
Regulación de la calidad del aire	Captura de polvo y químicos.
Regulación del clima	Secuestro de Carbono, influencia de la vegetación en la lluvia.
Moderación de eventos extremos	Protección contra lluvias y prevención de inundaciones.
Regulación del flujo de agua	Drenaje natural, riego y prevención de sequías.
Tratamiento de residuos	Purificación de agua.
Prevención de la erosión	
Mantenimiento de la fertilidad del suelo	Formación del suelo.
Polinización	
Control biológico	Dispersión de semillas, control de enfermedades y plagas.
SERVICIOS DE HABITAT	
Mantenimiento del ciclo de vida de especies migratorias	Servicio de criadero.
Mantenimiento de la diversidad genética	Protección del pool genético.
SERVICIOS CULTURALES	
Oportunidad para recreación y Turismo	
Expresiones de cultura, arte y diseño	
Experiencias espirituales	
Información para el desarrollo cognitivo	

En los agroecosistemas ocurren un conjunto de transformaciones que amenazan la biodiversidad y su capacidad de proveer servicios ecosistémicos, como por ejemplo:

- Grandes extensiones de bosques, pastizales y humedales, convertidos a monocultivos.
- La intensificación del uso agrícola que genera pérdida de biodiversidad a nivel de lotes y paisajes.
- Erosión de suelos con pérdida de estructura y composición de especies.
- Cultivo en zonas de baja aptitud, provocando la disminución de recursos y refugios para especies benéficas.
- Pérdida de ambientes por agricultura y abuso de herbicidas. Con la consecuente pérdida de biodiversidad y calidad de hábitat para especies benéficas.
- El control de plagas con insecticidas causa pérdida de biodiversidad no blanco, produciendo contaminación de suelos y agua. Daño incrementado además por la incorrecta disposición de los envases de agroquímicos cerca de fuentes de agua.
- El uso de agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes) contribuyen a eutricar los cuerpos de agua por los excesos de nutrientes que drenan desde los lotes de cultivo, o generando mortandad sobre organismos acuáticos no blanco.

- Pulverización de los bordes elimina hábitat e incrementa riesgos toxicológicos para especies no blanco, muchas veces útiles para la agricultura (organismos benéficos) (Zaccagnini, 2010).

La información sobre la distribución y las técnicas de explotación de los recursos naturales ha sido un motor fundamental para el desarrollo de las naciones, y las instituciones gubernamentales de investigación y transferencia han cumplido y cumplen un rol fundamental en el acceso público a ese conocimiento. Pero el aumento de la capacidad productiva basado sobre ese conocimiento no es suficiente para lograr un desarrollo ambiental, económico y socialmente sustentable si no es confrontado con conocimientos e información, también de acceso público, acerca de sus costos ambientales, económicos y sociales.

En el territorio argentino y latinoamericano, muchos ecosistemas que hasta hace apenas un par de décadas permanecían bajo vegetación natural y eran destinados a usos ganaderos y forestales muy extensivos, están cediendo espacio para el avance de la frontera agropecuaria a tasas sin precedentes. El mejoramiento genético, la biotecnología, el control químico de plagas, los sistemas de labranza, irrigación y drenaje han progresado de forma notable y permiten responder rápidamente a las demandas del mercado internacional por alimentos y fibras, así como de su nuevo competidor, los biocombustibles.

En ausencia de conocimientos y políticas adecuadas, las últimas décadas no sólo han dado lugar a pérdidas severas en la capacidad de los ecosistemas para sostener la productividad de los suelos, proveer agua limpia, controlar los caudales de ríos e inundaciones, o para regular la composición de la atmósfera y el clima (entre otros beneficios); también han dado lugar a una asimetría marcada en la forma en que el perjuicio de esas pérdidas se distribuye entre distintos sectores geográficos y económicos de la sociedad. El progresivo reconocimiento científico y el mayor nivel de conciencia sobre los múltiples beneficios, tanto tangibles como intangibles, que brindan los ecosistemas ha vuelto inadmisibles el reemplazo indiscriminado de bosques, pastizales y humedales remanentes para su aprovechamiento agrícola, forestal, pecuario, minero o inmobiliario sin una adecuada evaluación de los efectos colaterales o externalidades que los acompañan (Latterra et al, 2010).

Servicios ecosistémicos

El concepto de servicios ecosistémicos surge del movimiento ambientalista de Estados Unidos en la década de 1970 y a su vez, de la conceptualización creciente de la naturaleza como conjuntos de sistemas integrados. Los servicios ecosistémicos se definen como los componentes y procesos de los ecosistemas que son consumidos, disfrutados o que conducen a aumentar el bienestar humano tomando en cuenta la demanda de los beneficiarios, así como la dinámica de los ecosistemas (Balvanera et al, 2010). Este término se utiliza en contextos académicos y algunos programas internacionales para enfatizar que los servicios son producto

de la interacción entre los distintos componentes de los ecosistemas. La valoración económica de los servicios ecosistémicos está siendo adoptada en muchos países de América Latina.

La configuración espacial de los usos de la tierra es el resultado de decisiones individuales y colectivas que a la vez reflejan el modo en que la sociedad se relaciona con el medio biológico, definiendo la organización espacial del territorio (OET), la cual es una propiedad multidimensional y espacialmente explícita de los sistemas socioecológicos. La OET depende de la influencia de impulsores externos y de mecanismos de retroalimentación entre el sistema social y el sistema ecológico. Un componente clave es la “distancia” entre quienes perciben los beneficios de decisiones de uso específicas (deforestación) y quienes asumen sus costos. Uno de los mayores costos asociados a decisiones de transformación de los ecosistemas es la pérdida de Servicios Ecosistémicos (SE), lo cual a su vez afecta la habilidad de los sistemas naturales de sustentar las necesidades humanas (Latterra y Nahuelhual, 2014).

Según lo expresado por Verón et al (2010), los servicios ecosistémicos involucran una trama compleja de interacciones entre el dominio de lo natural o biofísico, en donde estos servicios se generan, y el de lo humano o social, en donde se capturan o utilizan. La complejidad inherente al estudio de los servicios ecosistémicos deriva de la diversidad de percepciones, de la trama de interacciones entre componentes biofísicos y sociales y de las diferentes escalas espaciales y temporales en las cuales se dan estas interacciones. Subyacente a esta complejidad se encuentra un nivel elevado de incertidumbre, asociado a insuficientes conocimientos y comprensión de los procesos involucrados (y de su interacción). La multiplicidad de percepciones de un servicio ecosistémico se puede ilustrar al tomar como ejemplo la provisión de agua. Si bien un poblador urbano puede interpretar este servicio como el acceso a agua para consumo, un técnico gubernamental puede asimilarlo a la disponibilidad de agua para una central hidroeléctrica. Estas diferentes percepciones resultan en diferentes requerimientos: mientras que el poblador urbano estará interesado en la calidad del agua para consumo humano y en segundo lugar por la cantidad (en particular, asegurarse una cantidad dada durante todo el año), al técnico gubernamental le resultará fundamental el volumen anual, en menor medida la variación estacional y en mucho menor medida aún la calidad química. De la misma manera puede ocurrir que un mismo actor social (el poblador urbano en este caso) perciba dos servicios cuyo nivel de provisión sea competitivo (la mayor provisión de un servicio disminuirá la provisión del otro) o sinérgico (a mayor provisión de un servicio aumentará la provisión del otro). La provisión de alimento y el control de inundaciones podrían ilustrar el primer caso (aunque no necesariamente ambos servicios son competitivos). El aumento en el área sembrada con cultivos extensivos redundará en una mayor producción de alimentos aunque también puede incrementar la cantidad de agua que escurre de manera superficial y subsuperficial en una cuenca; de esta manera aumenta la probabilidad de tengan lugar inundaciones aguas abajo.

En mayor o menor medida, los servicios ecosistémicos tienen asociada una escala espacial y una temporal en las que tiene lugar su generación y captura. Por ejemplo, si bien aspectos locales de un lote agrícola como su cobertura vegetal, la textura del suelo y su pendiente son

determinantes de su susceptibilidad a la erosión, aspectos regionales como su posición relativa en el paisaje y el nivel que adopten las variables mencionadas antes en los lotes vecinos ubicados aguas arriba en la misma cuenca son determinantes adicionales, y hasta más importantes, del proceso de erosión. Esto refleja cómo el servicio ecosistémico de protección del suelo puede ser capturado en un lote, pero puede generarse en una superficie mucho mayor (perceptible en el nivel de cuenca hídrica). También se producen desajustes de escala en el tiempo, en el caso de la regulación hidrológica se observa cuando la transformación de la cobertura en territorios muy planos inicia un proceso lento pero sostenido de ascenso freático y transporte de sales que se traduce, después de décadas o de más de un siglo, en anegamiento y salinización de suelos y aguas. La generación del servicio de regulación hidrológica se interrumpe, entonces, mucho antes de que se traduzca en un problema para la sociedad.

Existen cuatro aspectos que denotan la complejidad de los servicios ecosistémicos: la multiplicidad (lo que “a priori” parece un único servicio, son en realidad varios servicios según que sociedad o sector de la sociedad los perciba), las interacciones (hay sinergias y compromisos entre servicios de muy distinta naturaleza), la no linealidad (la prestación de un servicio puede caer en forma abrupta e irreversible cuando un cambio ecológico gradual atraviesa un determinado umbral), y los desajustes de escala temporal y espacial entre la generación y la captura de los servicios (el deterioro en el nivel actual de captura de un servicio en un lugar es el resultado de acciones y cambios ocurridos en el pasado y/o en lugares distantes o superficies más grandes).

Sistemas socioecológicos

El concepto de sistemas socioecológicos permite entender los procesos de toma de decisiones acerca de los ecosistemas y las implicaciones sobre su composición, estructura y funcionamiento.

Los sistemas socioecológicos consideran a los sistemas sociales como conjuntos de personas que interactúan, crean sistemas compartidos de significados, normas y rutinas, y establecen patrones de dominancia y distribución de recursos. Este enfoque busca entender cómo algunas sociedades humanas han logrado la construcción de prácticas de manejo dirigidas a obtener recursos y servicios de los sistemas naturales sin degradar a los ecosistemas ni afectar su capacidad de renovación a lo largo del tiempo. Resulta crucial para este enfoque tanto el conocimiento tradicional o local sobre los ecosistemas y la generación de tecnologías apropiadas al funcionamiento de los ecosistemas manejados, como la existencia de instituciones locales (Balvanera et al, 2010).

Los numerosos estudios de caso de sistemas socioecológicos en distintas partes del mundo, incluyendo a América Latina, señalan a la propiedad comunal y el manejo colectivo de recursos como elementos sustanciales para el mantenimiento y la resiliencia de estos sistemas (Balvanera et al, 2010).

La gestión territorial es parte dependiente del sistema social, e incluye no sólo al ordenamiento territorial (la regulación del uso de territorio) sino también al seguimiento o monitoreo de las variables biofísicas responsables de la provisión de servicios y de la percepción de estos servicios por la sociedad. También involucra los procesos informativos y educativos capaces de influenciar esta percepción. Un esquema de este tipo debería facilitar la implementación de sistemas de monitoreo y la adaptación del ordenamiento territorial a nuevas evidencias técnicas así como a nuevas demandas por parte de la sociedad.

De esta manera, las interacciones que se originen en el componente social estarán motivadas principalmente por la demanda de un servicio ecosistémico, mientras que las originadas en el sistema ecológico lo estarán por la oferta de ese servicio (Verón et al, 2010).

Evaluación de los ecosistemas y sus servicios

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millennium Ecosystem Assessment-MEA) es una iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas. En el año 2005 convocó a científicos de diferentes partes del mundo para intentar identificar el estado actual y las tendencias de deterioro de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos que proveen; a su vez, tuvo como objetivo generar opciones para conservar, restaurar y usar de manera sustentable los ecosistemas.

En el manejo de ecosistemas es fundamental la delimitación de los ámbitos espacial y temporal en los que se llevará a cabo el manejo. Al incorporar el concepto de los SE, una pregunta esencial de manejo es: ¿en qué escalas espaciales y temporales operan los procesos ecológicos que controlan la dinámica funcional del SE que deseamos asegurar? Así, por ejemplo, en zonas con riesgo de inundación elevado, el ecosistema se debe manejar en la escala de cuenca hidrológica, ya que los procesos que intervienen en el control de las inundaciones operan a nivel de toda la cuenca.

Dado el carácter integrador del agua en gran parte de los procesos ecológicos, la cuenca hidrológica se ha constituido como una excelente unidad territorial de manejo (Balvanera et al, 2010).

Además se aplica el concepto de “biozonas” o “tipos funcionales de ecosistemas” (TFE) que es introducido por Soriano y Paruelo (1992), identificando grupos de ecosistemas que comparten características relacionadas con la dinámica de los intercambios de materia y energía entre la biota y la atmósfera y que, además, responden de manera semejante ante factores ambientales (Paruelo et al, 2001).

El estrés y/o las perturbaciones, tanto naturales como antrópicas, que experimenta una región afectan al funcionamiento de sus ecosistemas y, por tanto, modifican su composición de TFE. De esta manera, la transformación agrícola de pastizales templados húmedos genera TFE con menor productividad, mayor estacionalidad y picos de máxima productividad más tempranos o más tardíos. Cada TFE puede ser caracterizado en base a procesos ecosistémicos, reflejando por lo tanto el nivel de provisión de servicios intermedios o de

soporte. Un punto crítico en el proceso de tornar operativo el concepto de SE es la definición explícita de estas “funciones de producción”, es decir de la relación entre procesos ecosistémicos (la productividad primaria o la evapotranspiración) y servicios intermedios (regulación hídrica) y finales (control de inundaciones) (Paruelo et al, 2010).

Servicios hídricos de los ecosistemas

Los servicios hídricos de los ecosistemas no sólo comprenden la provisión de agua en cantidad y calidad, sino también la regulación hidrológica. Esta cobra gran importancia en las llanuras, donde la vegetación y el uso de la tierra pueden jugar un papel relevante al afectar la generación de excedentes hídricos e inundaciones. Los mecanismos principales son la partición de la precipitación en: a) escurrimiento superficial e infiltración y b) la partición del agua infiltrada en evapotranspiración y drenaje profundo. Ambos mecanismos intervienen en la provisión de agua y en la regulación hidrológica (Jobbágy, 2011).

La influencia de los ecosistemas y de la acción antrópica ejercida sobre el ciclo hidrológico plantea una conexión de intereses percibidos en distintas escalas geográficas y por distintos actores. De esta manera pueden surgir compromisos entre los beneficios de la producción agropecuaria (que se perciben en un predio) y los servicios hídricos que perciben las personas que habitan la periferia del predio (salinización), la cuenca (regulación de caudales en ríos), la región (regulación de grandes inundaciones) o aun el continente (regulación de las precipitaciones). Esta conectividad que aporta el ciclo del agua puede verse como un problema al obligar a articular intereses encontrados, pero puede representar también una oportunidad, capaz de demostrar a la sociedad la estrecha vinculación que existe entre la producción agropecuaria y otros servicios que los ecosistemas le brindan (Jobbágy, 2011).

CAPÍTULO 6

Ordenamiento territorial en cuencas hidrográficas (OT)

Fernanda J. Gaspari

Planificación y Ordenamiento Territorial en Argentina

El Ordenamiento Territorial (OT) se concibe como un proceso y una estrategia de planificación de carácter técnico-político, a través del cual se pretende configurar, en el corto, mediano y largo plazo, una organización del uso y ocupación del territorio, acorde a las potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos sectoriales de desarrollo (económicos, sociales, culturales y económicos).

Según el Título I, *Artículo 4*, del Anteproyecto de Ley Nacional de Planificación y Ordenamiento Territorial del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios de la Nación Argentina (MPFIPS, 2012), se define como **Ordenamiento Territorial** a una política pública, destinada a orientar el proceso de producción social del espacio, mediante la aplicación de medidas que tienen por finalidad la mejora de la calidad de vida de la población, a través de su integración social en el territorio y el uso y aprovechamiento ambientalmente sustentable y democrático de los recursos naturales y culturales.

En el *Artículo 5*, el Ordenamiento Territorial es la expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de toda la sociedad, que se llevan a cabo mediante determinaciones que orientan el accionar de los agentes privados y públicos sobre el uso del suelo. Es una función pública indelegable, que organiza el uso del territorio de acuerdo con el interés general, determinando las facultades y deberes del derecho de propiedad del uso del suelo conforme al destino de este. Se ejerce conforme lo establezca cada jurisdicción en base a las autonomías provinciales y municipales, en forma armónica con los regímenes especiales.

Los instrumentos normativos de OT, tanto de jurisdicción federal como local, son de orden público y las determinaciones de los Planes legalmente aprobados son de carácter vinculante para las instituciones públicas, entes y servicios del Estado y los particulares.

En el *Artículo 6*, se reconocen los siguientes Principios Rectores del Ordenamiento Territorial en todo el ámbito nacional.

Principios generales

- I. Equidad del desarrollo territorial: creación de condiciones de equidad en el desarrollo territorial, lo cual implica respetar el derecho de todos los habitantes a una calidad de

- vida digna, garantizando la accesibilidad a los equipamientos, servicios públicos y servicios ambientales necesarios para alcanzar un hábitat adecuado.
- II. Sustentabilidad: realización del desarrollo económico y social y el uso de los recursos naturales y del ecosistema para actividades productivas, a través de un manejo apropiado que permita satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras.
 - III. Conciliación del desarrollo social, ambiental y económico: conciliación de la actividad económica, la equidad social y la utilización racional de los recursos naturales, con objetivos de desarrollo integra del territorio, promoviendo una equilibrada distribución espacial de los usos y actividades, del sistema de asentamientos humanos, así como el máximo aprovechamiento de las infraestructuras y servicios y la prevención de los riesgos.
 - IV. Integración territorial: consolidar un territorio que integre funcional, ambiental, económica, social, política y culturalmente el área urbana y rural, en correspondencia con las bases de ordenamiento, zonificación y definición de los sistemas estructurantes del Ordenamiento Territorial.
 - V. Desarrollo Humano Sustentable, Productividad y Seguridad y Soberanía Alimentaria: alcanzar un equilibrio entre los logros de conservación ambiental, crecimiento económico productivo, bienestar y equidad social, que permita la transición hacia un modelo de gestión sustentable y participativa.
 - VI. El suelo como recurso natural: el suelo es, además de un recurso económico y social, un recurso natural no renovable y escaso, por lo que las políticas públicas relativas a la regulación, ordenación, ocupación y transformación del mismo, tienen como fin su utilización conforme al principio de prevalencia del interés general sobre el particular.
 - VII. Respeto por la Identidad y las Culturas: garantizar las condiciones democráticas a todos los pobladores y comunidades, para el ejercicio de sus derechos y de sus expresiones culturales, como así también a su patrimonio cultural, en perspectiva con la interculturalidad.
 - VIII. Competitividad Sistémica Sustentable: propiciar el desarrollo de las cadenas productivas y de valor a nivel territorial, mejorar la productividad de las producciones locales en los mercados nacionales y globales, garantizando la sustentabilidad ambiental, la equidad social y la gobernabilidad institucional.
 - IX. La ciudad como construcción colectiva: la ciudad es un espacio de construcción social derivado del esfuerzo colectivo, hecho que responsabiliza al Estado a distribuir equitativamente los costos y beneficios del proceso de urbanización entre los actores públicos y privados.
 - X. Promoción del arraigo: garantizar a los habitantes de las áreas rurales las capacidades y oportunidades que ofrece la pertenencia a un territorio, impulsando políticas que promuevan el arraigo.

A partir de estos conceptos se establece que el OT en cuencas hidrográficas considera la relación existente entre los recursos naturales actuales y futuros, particularmente el recurso hídrico y su integración socioambiental, y posteriormente introduce las limitaciones propias de la misma para proponer un uso más adecuado del territorio, cuidando de no exceder la capacidad de oferta de la naturaleza, y haciendo especial énfasis en la conservación y preservación de los recursos, proponiendo un desarrollo sostenible para la misma.

Concepción de ordenación agrohidrológica (OACH)

El objetivo principal de la ordenación agrohidrológica es la mejora de la calidad de vida de las poblaciones locales mediante la protección de los suelos, la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. A su vez, la mejora de los recursos económicos propios permitirá generar empleo y estabilizar la población evitando las migraciones en origen, potenciando el desarrollo de los sectores económicos basados fundamentalmente en el aprovechamiento ordenado de los recursos naturales propios: sector forestal, turismo rural, caza y pesca, sector agro-ganadero, productos naturales (miel, hongos, semillas) entre otros (Rábade Blanco, 2006).

La ordenación agrohidrológica aborda la corrección del fenómeno torrencial teniendo como unidad de estudio la cuenca vertiente (OACH), que es el gran colector que recoge las precipitaciones en forma de lluvia y las transforma en escurrimientos que originan los ríos. Las soluciones deben ser concebidas como una conjunción de mejora de la cubierta vegetal e hidrotecnias, armónicamente distribuidas entre la cuenca y sus cauces (Gaspari et al, 2009).

La OACH surge como una técnica encaminada al uso correcto de sus recursos naturales constituyentes, así como a la corrección de las situaciones degradadas, derivadas del uso inadecuado de los mismos por actividades anteriores, normalmente no planificadas, que provocaron la desestabilización del conjunto del sistema, precisamente por no considerar la conexión existente entre los distintos elementos que la integran (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

Los tres principios esenciales sobre los que se fundamenta la ordenación de los espacios naturales, rurales y forestales de las cuencas hidrográficas son:

1. El reconocimiento de la multifuncionalidad de dichos espacios, que obliga a conciliar los intereses de los diferentes sectores y actores implicados en el uso del territorio.
2. La necesidad de preservar la biodiversidad, los valores naturales y las funciones ecológicas de dichos espacios.
3. La búsqueda de un modelo sostenible de desarrollo que permita la mejora de la calidad de vida de las poblaciones locales preservando el medio ambiente y no comprometiendo el futuro de las generaciones venideras.

Criterios de selección de instrumentos metodológicos en función del nivel de proyecto del plan de OCH

La ordenación de cuencas hidrográficas (OCH) es un instrumento de planificación del desarrollo sostenible y tiene por objetivo la adecuación de las actividades económicas en los espacios geográficos, logrando un equilibrio entre la mejor calidad de vida de la población y la optimización del uso sostenible de los recursos naturales.

Es importante recordar que el agua es un recurso estratégico para el desarrollo de las economías regionales en cuencas hidrográficas. La asignación y planificación del agua disponible como OCH, debe atender no sólo los requerimientos ambientales y las necesidades básicas del ser humano, sino también elevar su calidad de vida con base en el desarrollo sustentable, poniendo el recurso hídrico al servicio del desarrollo y bienestar de la sociedad.

La planificación de OCH se debe basar en los siguientes principios:

- **Integralidad.** OCH interrelaciona las dimensiones territorial, cultural, económica, social, ambiental y política.
- **Participación.** OCH implica un proceso interactivo entre el Estado y la sociedad, donde los actores son sujetos de su construcción.
- **Subsidiariedad.** OCH es un proceso descentralizado con responsabilidades definidas en cada uno de los niveles nacional, departamental y municipal.
- **Equidad.** OCH está orientado a generar condiciones para asegurar mejor correlación de la diversidad territorial en los procesos de toma de decisiones, acceso a recursos productivos, financieros y no financieros, de tal forma que se garanticen las oportunidades, bienes y servicios en todo el país.
- **Precautorio.** Expresa el hecho de que la OCH está orientado a adoptar medidas precautorias cuando existan indicios de que una práctica u omisión en el uso u ocupación del territorio pueda generar daños graves o irreversibles.
- **Prevalencia del Interés General sobre el particular.** Expresa el hecho de que la OCH está orientado a optimizar la ocupación y el aprovechamiento del territorio buscando la preponderancia del interés general sobre el particular en caso de coalición e intereses.

La planificación para el OCH precisa de metodologías para la obtención de sus objetivos. Estas metodologías pueden variar, pero fundamentalmente han de estar basadas en un proceso informativo (levantamiento, sistematización interpretación y diagnóstico), un proceso evaluativo (zonificación o categorización física y económica) y un proceso de toma de decisiones, concertación y reglamentación (políticas, planificación y ordenamiento territorial).

A continuación se presenta una metodología básica de planificación del OCH y los criterios a considerar para la elaboración de diagnósticos:

1. Especificar y/o recolectar antecedentes para un diagnóstico general.
2. Definir los objetivos o propósitos del diagnóstico nivel de cuenca hidrográfica, según temáticas como ser ambiental, hídrica, edáfica, socioeconómica, entre otros.

3. Identificación y/o selección de unidades hidrológicas de menor tamaño para aumentar la precisión/escala de análisis, tendiendo a general el nivel de subcuenca y/o microcuenca.
4. Reconocimiento cartográfico y de campo de la subcuenca/microcuenca seleccionadas.
5. Diseño o selección de la metodología e instrumentos metodológicos para desarrollar el diagnóstico según objetivos propuestos.
6. Identificación y selección del equipo humano de trabajo interdisciplinario como facilitador de los talleres, entrevistas, encuestas, fichas, etc.
7. Determinación y conjugar de los criterios económicos, físicos, ambientales, culturales y sociales con los objetivos del plan de OCH, que permitan determinar el número de talleres a realizar por subcuenca y/o microcuenca.
8. Identificación y selección de los actores claves de la subcuenca/microcuenca que participarán en los eventos (talleres, consultas, entrevistas, etc.). Elección del lugar donde se realizarán los eventos (talleres, entrevistas, etc.).
9. Convocatoria a los eventos. Ejecución de los talleres. Generación de informes a partir de las conclusiones de los talleres y/o eventos afines al plan de OCH. Recolección de información a través de Fichas, encuestas y/o entrevistas.
10. Análisis e interpretación de la información de los Talleres y de las fichas, encuestas y entrevistas.
11. Utilización de información cartográfica y/o de Sistemas de Información Geográfica para generar una base de datos acorde a los resultados esperados del plan de OCH.
12. Determinación de la Estructura Lógica y elaboración del documento del Diagnóstico.
13. Devolución y validación de los resultados a los actores de la cuenca.

La función de un programa de OCH tiende a desarrollar programas de investigación aplicada y difusión en el ámbito de cuencas hidrográficas y de conservación de suelos y aguas. Además permite evaluar y monitorear los procesos que inciden en la degradación y funcionamiento de cuencas hidrográficas (Gaspari et al, 2009).

Un plan de OCH debe constar de los siguientes ítems:

Objetivos. Están relacionados con los objetivos de los programas y subprogramas del plan de OCH. Un Objetivo general puede ser ordenar los recursos naturales renovables y administrar bien esos recursos.

Marco Financiero. Se establecen metas físicas y financieras de cada programa y subprograma. Establece cuanto existe de cada recurso y que meta se llegará, además de definir el financiamiento y costo de cada programa y subprograma.

Factibilidad. Se establece la factibilidad física y financiera de cada programa y subprograma.

Justificación. Se establece la justificación de cada programa y subprograma desde el punto de vista económico, social, político, cultural y ambiental.

Estrategia. Se establece la forma y los mecanismos para generar el OCH. Se refiere a procesos orientados a definir la dirección, vía, forma o cómo se va a lograr el manejo de la cuenca, implica determinar la forma de cómo se van a materializar en la realidad cada una de las propuestas.

Evaluación. Esta etapa puede ser de índole física, económica: relaciones costos/beneficios, social (beneficios sociales, algunos intangibles), impacto ambiental: impacto de obras de ingeniería (presas, carreteras) sobre el ambiente.

Control. Se establecen mecanismos de control sobre cada programa para verificar se implementación y el cumplimiento de las etapas.

Conclusiones y Recomendaciones. Están referidas al plan de manejo en sí y son de tipo institucional. Por ejemplo se recomienda que la secretaría de agricultura ó la universidad organicen seminarios ó cursos de capacitación.

A partir de la aplicación de este tipo de programas se promueve la participación de la población y comunidad local a todo nivel mediante campañas de difusión y sensibilización, fundamentalmente para fortalecer una cultura del agua y del suelo en el ámbito del manejo integral de recursos naturales asociados a cuencas.

Las principales líneas programáticas, desarrolladas mundialmente en la actualidad, son: la ordenación territorial, la restauración hidrológica forestal, la recuperación y conservación de suelos y aguas y el monitoreo de recursos asociados a cuencas hidrográficas, entre otras.

Para implementar planes y proyectos de manejo de cuencas hidrográficas, se pueden considerar diferentes tipos de estrategias, desde aquellas que están dirigidas a la gestión de recursos, hasta las que permitirán la integración y participación de agricultores a nivel de predio, o de trabajos comunitarios (Carrie, 2004). Los proyectos son los que posibilitan la implementación de acciones dirigidas a resolver los problemas y demostrar en forma directa las bondades del manejo o de la rehabilitación de las cuencas. Permiten diseñar las acciones de intervención y cómo ejecutar cada una de las actividades (Carrie, 2004; Gaspari et al, 2009).

Los criterios básicos que siguen los planes de acción son:

1. Plantear alternativas de conservación y producción para el desarrollo de áreas pequeñas (microcuencas, subcuenca, complejos, zonas de tratamientos, a menos que exista experiencia y recursos necesarios para otras prioridades).
2. Viabilidad económica.
3. Ambientalmente sostenibles.
4. Sociocultural e institucionalmente aceptables.
5. Orientadas hacia la producción mediata e inmediata y
6. Administrativamente factibles y operables.

En este sentido, es muy importante utilizar conceptos sencillos sobre uso apropiado de la tierra y las tecnologías de producción y conservación que puedan entender y aplicar directamente los agentes de cambio sin mucha ayuda técnica y financiera.

Para el diagnóstico básico los sistemas de información geográfica (SIG) son de gran utilidad. Esta herramienta permite apoyar y facilitar la realización de los análisis de datos geoespaciales, diseñar los planes de manejo, evaluar los avances en proceso de implementación y evaluar los impactos a largo plazo. La información biofísica y socioeconómica puede ser representada en forma espacial (como mapas temáticos) con su respectiva variabilidad temporal, de manera que aspectos específicos relacionados con el uso de la tierra, recursos hídricos, sistemas de extensión, accesibilidad, se expresan e interpretan cualitativa y cuantitativa sobre el manejo de los recursos naturales y el bienestar del hombre.

Las experiencias de evaluación de impactos en manejo de cuencas expresan una evidente necesidad de sintetizar y globalizar los indicadores para facilitar las decisiones de implementar un plan de monitoreo y evaluación.

Los indicadores propuestos en las metodologías, son muy numerosos y requieren de muchos recursos y tiempo para obtener la información, por esta razón se plantea la necesidad de identificar indicadores claves, suficientes para interpretar los impactos del manejo de las cuencas a partir de una línea base (Carrie, 2004).

CAPÍTULO 7

Herramientas de OT

Sistemas de información geográfica (SIG)

Fernanda J. Gaspari

Diagnóstico cartográfico en cuencas hidrográficas

El diagnóstico de la cuenca hidrográfica en estudio es un paso previo al inicio de nuevas actividades o proyectos, que permite conocer los aspectos biofísicos, socioeconómicos y ecológicos que existen. El mismo se debe presentar con un ajuste geográfico para su zonificación.

El dato geográfico espacial presenta dos componentes relacionados: uno temático explicado por un objeto o fenómeno que describe atributos particulares de un sitio (por ejemplo: un bosque se describe por su superficie, especies presentes, número de estratos de la vegetación, etc.) y otro que se denomina componente espacial, que hace referencia a la geometría y a la topología (relación entre objetos vecinos). El Sistema de Coordenadas Geográficas establece la posición geográfica de un punto de la superficie terrestre, utilizando dos coordenadas angulares de un sistema de coordenadas esféricas (latitud-longitud). Una proyección cartográfica es una correspondencia biunívoca entre estos puntos de la superficie terrestre y transformados en un plano (Gaspari et al, 2009). La representación de puntos y/o contornos de objetos, superficies y ángulos geográficos, expresa la información que aparece en un mapa.

El campo de la cartografía se puede dividir o separar en dos categorías generales: la Cartografía general y la Cartografía temática. La cartografía general implica esos mapas que se construyen para una audiencia general y contengan así una variedad de características. Los mapas generales exhiben muchas referencias y los sistemas de localización se producen a menudo en series, por ejemplo las cartas topográficas, carta imagen satelital.

La cartografía temática implica los mapas de temas geográficos específicos, orientados hacia las audiencias específicas, por ejemplo cartas edáficas, cartas geológicas, cartas catastrales, entre otras.

La cartografía está definida por una relación de semejanza entre una distancia en el plano y su correspondencia sobre el terreno, denominada escala. Toda representación, está en una relación de tamaño (proporción) con el objeto representado. La escala puede ser expresada en forma numérica o gráfica. La clasificación se realiza además según su escala: generales (< 1:500.000) o detallados (> 1:500.000).

Según el soporte en que se presenta el mapa, puede ser analógico o digital.

La cartografía se puede agrupar según el grado de procesamiento que presente la información conformando un **modelo cartográfico** específico. La cartografía primaria o de primer orden se elabora a partir de procesos directos de observación y medición de la superficie terrestre (topografía, suelos, vegetación y uso del suelo, red de drenaje); la secundaria o de segundo orden: obtenida por procesamiento de la cartografía primaria (rangos de pendiente, orientación de laderas, clases de vegetación según pendiente) y por último la cartografía terciaria o de tercer orden: se obtiene por procesamiento conjunto de una o más cartografía primaria y/o secundaria (riesgo de erosión, inundación, otros).

El modelo cartográfico expresa la secuencia de análisis de los aspectos temáticos de una cuenca hidrográfica como un sistema que incluye entradas y salidas y dentro de la cual expresa las relaciones diferentes y dinámicas, para analizar e interpretar los resultados de estas interacciones (ejemplo: entre el hombre y el suelo conocer el uso potencial versus el uso actual, interpretar si existe o no conflicto de uso y analizar las causas y efectos de dicha realidad como por ejemplo posibilidades de riesgos y desastres, efectos económicos por baja rentabilidad de cultivos).

Componentes de un Sistemas de Información Geográficas (SIG)

La herramienta más conocida para gestionar el sistema territorial es un Sistema de Información Geográfica (SIG), que puede contener mapas de catastro rural, una valoración de la vegetación y uso del suelo considerando la valoración agro-productiva, un diagnóstico ambiental de la cuenca, la distribución del sistema de drenaje superficial y las características del tipo del suelo (edáficas). Bonham-Carter (1994) define SIG como un sistema informático para la gestión de datos espaciales. Agrega que el adjetivo geográfico implica que la situación espacial de los distintos objetos es conocida, o puede ser calculada, en términos de coordenadas geográficas (por ejemplo, latitud-longitud).

El término SIG se origina en la década de 1960, como resultado de la extensión de los sistemas de base de datos a todo tipo de dato geográfico. Básicamente se trata de un dispositivo informático para analizar datos espaciales, capaz de realizar distintas funciones operativas (Gaspari et al, 2009).

El SIG presenta diferentes funciones según el procesamiento digital y el programa informático empleado. Entre las más importantes se destacan:

- Incorporación y almacenamiento de datos: digitalización, edición, construcción de topología, transformación de proyecciones, conversión de formatos y asignación de atributos.
- Creación de una base de datos coherente y económica que conserve sus características: archivos de datos, elección del modelo de base de datos (jerárquica, relacional, orientada a objetos), y consulta de atributos.

- Análisis y generación de nueva información a partir del original: operaciones de medición, operaciones de superposición, operaciones de intersección y clasificaciones.
- Representación de los datos: transformación de escala, mapas temáticos, representaciones en dos y tres dimensiones (2D y 3D), mapa estadístico, tablas y figuras.

El almacenamiento y procesamiento de información georreferenciada a través de Sistemas de Información Geográfica puede ser automatizado y utilizado para la obtención de nueva información útil para el análisis de la hidrología de superficie (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010).

Procesamiento de cartografía de base

A partir de la cartografía de base determinada por un reconocimiento de los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, geología, altitudes), se puede utilizar un Sistema de Información Geográfica (SIG) para su representación cartográfica. La Sociedad Francesa de Fotogrametría y Teledetección (1989) define al SIG como un sistema informático el cual reúne, organiza, maneja, analiza, combina, elabora y presenta datos geográficamente localizados a partir de diferentes fuentes y contribuye en particular al manejo de objetos / datos en el espacio (Gaspari et al, 2009).

Los objetos generan datos espaciales constan de dos componentes: uno **espacial** que representa las observaciones tienen dos aspectos (X,Y) en referencia a su localización, basada en un sistema de coordenadas y las relaciones topológicas con respecto a otras entidades, y un componente **temático** que expresa las variables o atributos cuali-cuantitativas de las entidades a estudiar. Estos objetos se expresan como: objetos discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación).

Los tipos de bases de datos para SIG se utilizan bajo dos formatos: vectorial y/o grilla (cuadrícula o raster) (Gaspari et al, 2009). Por ello, existen dos formas de almacenar los datos en un SIG vectorial y raster. El vectorial expresa las características del objeto como un vector, manteniendo las características geométricas y geográficas, otorgando precisión de la localización. El raster, de cuadrícula o de retícula se centra en las propiedades del espacio, dividiendo el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor cuali-cuantitativo.

Los SIG que se centran en el manejo de datos en formato vectorial son más populares en el mercado. No obstante, los SIG raster son muy utilizados en estudios que requieran la generación de capas continuas, necesarias en fenómenos no discretos; también en estudios medioambientales donde no se requiere una excesiva precisión espacial (contaminación atmosférica, distribución de temperaturas, localización de especies marinas, análisis geológicos, etc.).

La entrada de datos en un SIG es el conjunto de operaciones para convertir la información analógica de la realidad (ya sea la observada directamente o la disponible en forma cartográfica como mapas papel o base de datos tabular) al formato digital concreto (vectorial

y/o raster) de cada programa informático. La conversión analógico / digital de la información geográfica se centra en la correcta representación de la componente espacial de los datos, conociendo su georreferenciación de los datos y la descripción en términos digitales de las características espaciales. La generación de una base de datos SIG consiste en un procedimiento mediante el cual un objeto geográfico recibe directa o indirectamente una etiqueta que identifica su posición espacial con respecto a algún punto común o marco de referencia, definiendo una topología entre objetos.

El objetivo de convertir información geográfica analógica en digital es producir una representación exacta de los datos originales del mapa. Esto significa que todas las líneas que se conectan en el mapa también deben conectarse en la base de datos digital (Naciones Unidas, 2000).

Los mapas base de un modelo cartográfico generalmente están disponibles en formato analógico papel (topografía, vegetación, suelos, geología y otras). Actualmente esta información se ha incorporado a bases de datos digitales que se encuentran en internet, como ser:

- Geoinformación de la Subsecretaría de Planificación y Política Ambiental de la Nación: <<http://www.ambiente.gov.ar/?idseccion=76>>.
- GeoINTA: <<http://geointa.inta.gov.ar/>>.
- Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina: <<http://www.iarh.org.ar/noticia.php?id=96>>.
- Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA): <<http://gis.ada.gba.gov.ar/gis-ada/map.phtml>>.
- Instituto Nacional del Agua (INA): <<http://www.ina.gov.ar/>>.
- Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina (2010): <<http://pag-ar00.minplan.gov.ar/>>.
- SIG-250. Instituto Geográfico Nacional (IGN): <<http://www.ign.gob.ar/sig250>>.

Ejemplo de Análisis geoespacial del escurrimiento superficial con SIG

La variedad de especializaciones temáticas para el análisis del escurrimiento superficial está incrementada aún más a través de la experiencia específica de diversos organismos, como ser instituciones públicas, privadas, ONG (s), universidades, generando una heterogeneidad de datos, que permite una retroalimentación importante para integrar multidisciplinariamente. La integración de esta base de datos temática se puede realizar por medio de una herramienta de análisis geoespacial, con aportes para el ordenamiento de territorios y el manejo de cuencas hidrográficas.

En Argentina, el método del NC ha sido ampliamente utilizado para predecir la escorrentía superficial en estudios de diseño de medidas de conservación de suelos, aunque se discute su precisión. En la Estación Experimental Agropecuaria de Paraná, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), desde 1973, el grupo de investigadores de Scotta han

instalado parcelas de escurrimiento que les permitió iniciar un estudio tendiente a perfeccionar el método de NC regional (Scotta et al., 1989). Bertoni (1997) aplicó el NC para cuencas rurales para estimar la respuesta hidrológica de la región pampeana ante la implementación de prácticas agrícolas. En el área serrana bonaerense, Gaspari (2002) generó una zonificación del NC a partir del estudio del tipo de suelo y cobertura vegetal a nivel de cuencas hidrográficas, estableciendo un modelo óptimo del comportamiento hidrológico del suelo.

El manejo individual del terreno y el diagnóstico de las condiciones de cada sitio son fundamentales para determinar los factores que han incidido activamente sobre el evento pluvial y la respuesta hidrológica. El análisis espacial de la evolución del NC se puede evaluar con apoyo SIG (Gaspari, Delgado y Senisterra, 2009). El modelo cartográfico espacio-temporal del NC, con SIG, permite la zonificación de áreas homogéneas que establecen zonas de respuesta uniforme de escurrimiento superficial, como se presenta en forma integrada en la figura 7.1. Este modelo cartográfico expresa la secuencia metodológica del NC para determinar la zonificación del escurrimiento superficial (Ver capítulo 3).

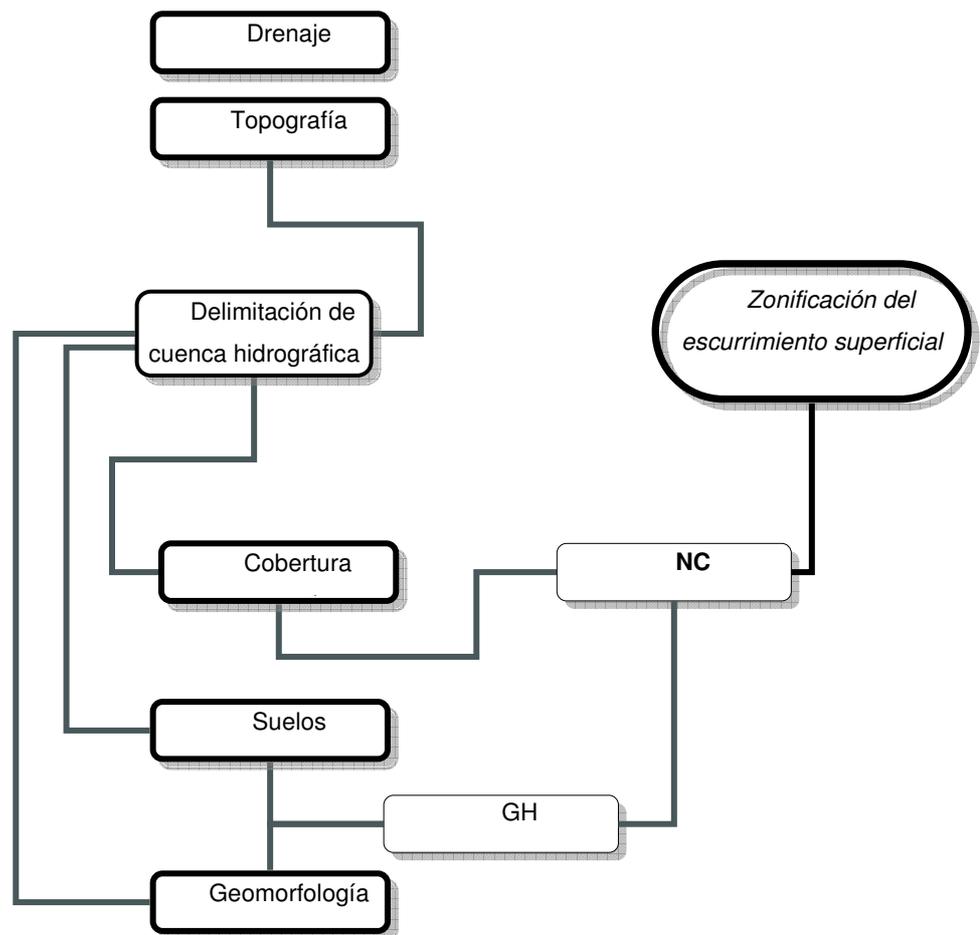


Figura 7.1. Modelo cartográfico de la zonificación del escurrimiento superficial.

Aplicación de métodos morfométricos

Desde el punto de vista de su funcionamiento, una cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza del suelo y por la cobertura vegetal y uso del suelo (Henaos, 1988; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Gaspari et al, 2009, Gaspari et al, 2012).

Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan una descripción física espacial que permite realizar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas. Al mismo tiempo, pueden proporcionar conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales. La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica, ante eventos climáticos, esta relacionada con la posibilidad de aprovechamiento hídrico y con la generación de una respuesta a los mismos, como la escorrentía superficial expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran (Gaspari et al, 2012).

Los SIG permiten realizar por medio de procesamientos matemáticos, la caracterización espacial de las propiedades morfométricas de las cuencas hídricas y de las redes de drenaje. Estas propiedades son indicadores destinados a determinar la influencia de la forma de la cuenca en el movimiento y captación del agua de lluvia, y se engloban en los parámetros de forma, relieve y de la red de drenaje (López Cadenas del Llano, 1998).

- Los parámetros de forma se definen con datos topográficos como ser: área o superficie de la cuenca, perímetro, longitud axial y de la red de drenaje, ancho promedio, Coeficiente de Gravelius (relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca), entre otros.
- Los parámetros de relieve caracterizan como es la pendiente media, la orientación y rugosidad de las laderas y la hipsometría de la cuenca, reflejada en la curva hipsométrica. La Curva hipsométrica adimensional (CHA) expresa el potencial evolutivo de la cuenca hidrográfica, por medio de un gráfico de dos ejes, donde la ordenada representa la Altura relativa (h/H) y la abscisa el Área relativa (a/A), donde h : Intervalo entre curvas de nivel (m), H : Desnivel total de la cuenca (m), A : Superficie total de la cuenca (ha) y a : Área entre curvas de nivel (ha) (Gaspari et al, 2012).
- Los parámetros de drenaje permiten para jerarquizar una red de drenaje en una cuenca hidrográfica, por medio de la asignación de valores numéricos a los órdenes de los ríos. También se expresa la pendiente de los cursos de agua, la densidad de drenaje, y el Tiempo de concentración (T_c). El T_c es el tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto mas alejado hasta la desembocadura de la cuenca (Chow et al, 1994; Gaspari et al, 2009).

Interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales para reconocimiento de usos del suelo

La introducción de técnicas de sensores remotos, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), capaces de procesar y comparar una gran cantidad de datos, han logrado proporcionar una información más detallada y precisa de los usos del suelo.

Las fuentes de datos espaciales para el reconocimiento de usos de suelo son muy diversas. Entre las mismas se encuentran: fotografías aéreas, imágenes satelitales, mapas analógicos, datos de campo (GPS), entre otros (Gaspari et al, 2009). La observación directa en el campo a partir de mapas base de reconocimiento y apoyada en el análisis de fotografías aéreas, tradicionalmente ha supuesto la principal fuente de información sobre los usos del suelo.

Las técnicas de procesamiento de imágenes de sensores remotos (acompañado por facilidades computacionales y disponibilidad en internet) se han extendido en los últimos años.

En relación al uso e interpretación de fotografía aéreas (blanco y negro y/o color), no implica un juicio de valoración de su importancia por sobre otro tipo de imágenes, sino que por su costo relativamente bajo y sus facilidad de manipulación (toma, procesamiento, etc.), disponible en formato analógico y/o digital.

El proceso de análisis de imágenes satelitales permite la identificación de objetos simples a través de las técnicas de reconocimiento con patrones, que pueden ser de textura, color, forma y el comportamiento multitemporal. El SIG conduce este proceso como una herramienta que en su conjunto, facilita y determina los diferentes usos del suelo, que pueden ser claramente identificados dentro de las imágenes satelitales.

En el contexto del sensoramiento remoto, la clasificación de imágenes multiespectrales y multitemporales para producir los mapas temáticos o generar inventarios de áreas de cobertura de la tierra, vegetación, cosechas, han sido uno de los principales usos en los modelo de reconocimiento y observación de la tierra (Vieira, 2000).

Los diferentes usos del suelo pueden ser representados, a modo de mosaico, en mapas de gran precisión, los cambios pueden ser monitorizados a una buena escala y permiten enjuiciar mejor la capacidad de la tierra, que viene definida por factores como el tipo de suelo, el microclima del área considerada, la inclinación o la estabilidad del suelo, que ayudarán a decidir su uso más apropiado.

El uso del suelo en una cuenca hidrográfica es un dato básico para la planificación del territorio, donde se desarrollará un diagnóstico e identificación de las diferentes especies vegetales, así como de su densidad y asociación, en el ámbito de las ingenierías agronómica y forestal, entre otros.

En el siguiente sitio web se presenta una clasificación general de usos de suelo: <<http://www.fao.org/docrep/003/X6853S/X6853S05.htm>>.

CAPÍTULO 8

Instrumentos metodológicos para el pago por servicios ambientales (PSA)

Gerardo A. Denegri

Pago por servicios ambientales

A lo largo de la historia, la modificación por parte del hombre de los ecosistemas favoreció el desarrollo económico y en menor medida el bienestar humano. La contra cara de ello, fue la generación de costos ambientales y sociales, que se fueron agravando a medida que la población crecía y en consecuencia se avanzaba sobre los ecosistemas prístinos, generando profundas alteraciones que afectaron primero, a las comunidades locales y a lo largo del tiempo se fue transformando en un problema global.

En Argentina este proceso está presente en muchos biomas que son alterados para expandir la frontera agrícola, fundamentalmente para cultivar soja en reemplazo de los bosques nativos.

La mayoría de los ambientes naturales argentinos se encuentran degradados resultado de un largo proceso ocurrido a lo largo del siglo XX, el que comenzó con la colonización de los territorios, la extracción de los productos naturales de valor (como árboles madereros), a ello le siguió el desplazamiento de la ganadería de la región pampeana a dichos ambientes y su posterior conversión a tierras de cultivos.

A lo largo de toda la historia moderna de Argentina, la producción agropecuaria fue exportada satisfaciendo básicamente la demanda europea en el siglo XX y en el XXI la de China e India. Las divisas ingresadas fueron las que permitieron y permiten financiar el desarrollo Argentino.

Por la necesidad de recursos naturales para sustentar su desarrollo, las nuevas potencias asiáticas no tienen en cuenta los problemas ambientales que genera su expansión comercial; además, China se ha convertido en el primer importador mundial de maderas y ejerce una presión de deforestación directa sobre los bosques tropicales y subtropicales del mundo (Halweil, 2005); en Argentina esa presión se refleja básicamente en la conversión de tierras forestales en agrícolas.

Según Michelena (2011), el 40 % del territorio argentino está afectado en alguna medida por fenómenos de degradación física, química o biológica, mencionando la erosión, la compactación, el sellado y encostrado superficial, la acidificación, la salinización y la pérdida de fertilidad.

En Argentina, existe un consenso, que el inicio para solucionar la degradación de los ecosistemas, pasa por la concreción de un ordenamiento territorial; entendiéndose por ello a un proceso estratégico orientado al futuro, cuyo objetivo es la toma de decisiones basado en criterios racionales, siendo un proceso comprensivo que consiste en la integración de las reclamaciones de espacio por los diferentes actores de una región.

En ese sentido, esa política nacional se resume en la *Ley General de Ambiente de Presupuestos Mínimos*, N° 25.675¹, que establece taxativamente la necesidad de avanzar en este tema mediante la participación ciudadana. En ese contexto se sancionó la *Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos* N° 26.331 regula el ordenamiento territorial y establece un sistema de compensación a los bosques que son conservados o manejados en forma sustentable por medio de un fondo, reconociendo de esa forma los servicios ambientales que ellos proveen. Ese plan de ordenamiento se debe concretar a través de instrumentos.

Los instrumentos de Gestión Ambiental son los recursos que utiliza la sociedad para llevar a cabo acciones concretas destinadas a lograr los objetivos planteados por las políticas. Estos generalmente constituyen el elemento operativo de los planes y programas ambientales adoptados.

Los instrumentos se clasifican en cuatro grandes categorías:

- De regulación directa, denominados de comando y control, basados en la promulgación de normas y en la ecuación coerción sanción; es decir, se trata de la forma tradicional de hacer cumplir la ley llevada al campo de la conducta ambiental.
- Los instrumentos administrativos consistentes en el otorgamiento de licencias permisos y demás modos de adquirir el derecho a usar los recursos naturales previstos en las diferentes legislaciones.
- Los instrumentos económicos que están dirigidos a hacer que las fuerzas del mercado sean las principales propiciadoras del cumplimiento de las metas ambientales de la sociedad.
- La educación, la investigación, la asistencia técnica y la información ambiental conforman la cuarta categoría.

Profundizando el Pago por Servicios Ambientales

El Pagos por Servicios Ambientales (PSA) constituye un instrumento económico que involucra los servicios ambientales (SA). SA en términos generales, son aquellos beneficios recibidos por los seres humanos de la comunidad nacional e internacional y que se derivan directa o indirectamente de diferentes elementos de la naturaleza, comprendiendo entonces diferentes ecosistemas domésticos y silvestres, cuyos efectos en la calidad de vida son tanto tangibles como intangibles.

¹ Según el Artículo 6 de la Ley 25.675: se entiende por presupuesto mínimo, establecido en el artículo 41 de la Constitución Nacional, a toda norma que concede una tutela ambiental uniforme o común para todo el territorio nacional, y tiene por objeto imponer condiciones necesarias para asegurar la protección ambiental. En su contenido, debe prever las condiciones necesarias para garantizar la dinámica de los sistemas ecológicos, mantener su capacidad de carga y, en general, asegurar la preservación ambiental y el desarrollo sustentable.

Se contabilizan numerosos SA que proveen los ecosistemas, como calidad del agua, fertilidad de los suelos hasta estabilidad climática, todos de enorme valor. Ellos los podemos clasificar en:

- **de soporte:** son aquellos que mantienen los procesos de los ecosistemas, tienen implicaciones indirectas sobre el bienestar humano. Entre ellos se encuentra el mantenimiento de la biodiversidad, del ciclo hidrológico, de los nutrientes y en consecuencia de la producción primaria del territorio asociado.
- **de provisión:** son tangibles y finitos, que son consumidos por la sociedad. Entre ellos se encuentra la provisión de agua para consumo o riego y la extracción de productos como: madera, juncos, hongos, plantas medicinales, entre otros.
- **de regulación:** son lo que mantienen los procesos y funciones naturales de los ecosistemas, a través de las cuales se regulan las condiciones del ambiente humano. Entre ellos encontramos la regulación del clima tanto a nivel local y como global mediante la captura de gases como los de efecto invernadero, el control de la erosión o de las inundaciones.
- **culturales:** son producto de percepciones humanas y dependen del contexto socio-cultural. Entre ellos se encuentra la belleza escénica y la capacidad recreativa que ofrece el entorno natural a las sociedades humanas.

El Pago o Retribución por Servicios Ambientales (PSA) es una propuesta para contribuir al ordenamiento del territorio. Básicamente es un mecanismo de compensación directo por medio del cual los proveedores de un servicio ambiental reciben un pago por parte de los usuarios (FAO, 2003).

Si bien el problema de la degradación ambiental presenta una larga historia a lo largo del siglo pasado y fue debatida en círculos académicos y por organizaciones ambientales; recién en su última década, la “Cumbre de Río de Janeiro sobre Medio Ambiente y Desarrollo” del año 1992 consideró específicamente la degradación del ambiente y su consecuente incidencia en la calidad y cantidad de los servicios ambientales, poniendo el tema en consideración mundial. A partir del año 1997 toma fuerza el concepto de SA en los medios académicos y en 2002 se publicaron los primeros trabajos que incorporan el término "pago", reconociendo la importancia económica que tienen los SA. Entre estos autores se menciona a Landell-Mills y Porras, (2002); Pagiola, Bishop y Landell-Mills, (2002); Pagiola y Platais, (2002). La contribución de estos autores fue la recopilación de una serie de mecanismos de mercado que ya se estaban aplicando en problemas ambientales y proponer su empleo al concepto de SA.

Este concepto fue coincidente con la idea del Banco Mundial, sobre la aplicabilidad de los mecanismos de mercado para solucionar problemas ambientales; entonces esta institución financió estudios y experiencias pilotos en distintos países de Latinoamérica ya sea en forma individual o asociado con el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF). El GEF fue concebido para apoyar a la Convención de las Naciones Unidas para el combate de la desertificación en el 2003 e implementó programas para promover el manejo sustentable de los recursos naturales renovables, financiando proyecto a través de donaciones asociadas a créditos de organismos internacionales afines al tema.

En Argentina dicha intervención fue asistiendo a la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, costeando un estudio de prefactibilidad para la aplicación de este instrumento en el país², si bien posteriormente no se registraron nuevos avances institucionales.

En lo que respecta a la implementación, los PSA se están aplicando principalmente en Latinoamérica y el Caribe. La mayoría de las experiencias se han enfocado en el manejo de recursos hídricos a nivel de cuenca (Hartman y Petersen, 2005).

El PSA está formulado en base a 3 postulados, a saber: los ecosistemas proveen SA, todos de enorme valor económico, pero al no presentar mercados, existen pocos incentivos para ofrecerlos, conocido su valor se pueden generar mercados de compensación asociados a la provisión de esos servicios. A continuación se analizan estos postulados.

Los servicios ambientales son externalidades positivas.

Las externalidades se definen como las decisiones de consumo, producción e inversión que toman los individuos, los hogares y las empresas y que afectan a terceros que no participan directamente en ellas (Figura 8.1). Para la teoría económica el problema se presenta porque el precio del producto no las refleja. Por ende, las rentabilidades y los costes privados son diferentes de los que asume la sociedad en su conjunto. Cuando el costo privado es menor que el social estamos frente a una externalidad negativa (ruido, contaminación, destrucción del hábitat), mientras que la situación inversa define una externalidad positiva. Los SA son externalidades positivas porque su presencia los disfruta la sociedad en su conjunto y no paga por ellos.



Figura 8.1. Ciclo económico que genera externalidad.

⁰ Ministerio de Salud y Ambiente. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Préstamo BIRF 4085-ar Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas PROYECTO PNUD ARG 99/011

Entonces, PSA es una de las herramientas prácticas que se deriva de la economía ambiental. Su fundamento parte de la teoría de las externalidades y bienes públicos y específicamente el Teorema de Coase, que demuestra que si los derechos de propiedad están bien definidos sobre la externalidad, el intercambio entre los agentes da lugar a una asignación eficiente de la misma.

Según, Silva et al (2010), Coase propone que a veces se debe permitir la externalidad negativa, llegando a un óptimo social mediante la negociación entre productor y "consumidor" o receptor de las mismas, en lo que es una compra-venta de derechos legales, si los costes de transacción son menores de lo que se persigue con el intercambio. Lo mismo es aplicable a las positivas.

En ese contexto los PSA no buscan eliminar la externalidad negativa o maximizar las positivas, sino llevarlas a un nivel que sea aceptado por la sociedad.

Para llegar a una negociación que satisfaga a los interesados es necesario conocer el valor y los costos de producir los SA.

Como conocer el valor de los SA

Se presentan numerosas dificultades de tipo filosófico hasta metodológico cuando se pretende asignar un valor a la naturaleza. Algunas propuestas intentan expresar en términos monetarios la totalidad del patrimonio natural; otras señalan dificultades para realizar tales estimaciones. Afirman que las mismas derivan de limitaciones conceptuales de la teoría económica y plantean la necesidad de reformular su aparato operatorio (incluida aquí las opiniones que niegan la posibilidad de llevar a cabo cálculos en términos monetarios referidos al patrimonio natural y sus flujos) y un tercer grupo de estudios está centrado en la investigación de la viabilidad de indicadores económicos de diverso tipo

A pesar del debate teórico y de las dificultades de aplicación, hay consenso en que la política económica ambiental necesita indicadores económicos especiales y en ese contexto el valor se constituye en un índice útil.

Desde un punto de vista social, valor es contar con un indicador de la importancia de los SA en el bienestar para la sociedad y que permita compararlo con otros Bienes y Servicios, por lo tanto se usa el dinero como medida.

Primero se debe definir el tipo de valor a considerar. Los SA pueden tener diferentes aproximaciones de valor según se analice, por eso se definen:

- Valor de uso: es el valor que le asigna un individuo por utilizar SA caso de los de provisión o en algunos casos los culturales, como turismo,
 - Valor de no uso: pese a que los individuos no utilizan el bosque le asignan un valor, dentro de ellos tenemos:
 - Valor de opción: puede haber personas que hoy no utilizan el bosque, pero quieren tener la opción de utilizarlo en un futuro.

- Valor de existencia: puede haber personas que nunca utilicen el bosque, pero pueden sentirse afectadas por lo que le ocurra, ellos valoran que el ecosistema exista.

Independientemente de esto, también se suele hablar de valoración para bienes y servicios que posean mercado directo (caso típico provisión) y aquellos que no poseen un mercado desarrollado (soporte o regulación).

Asignar valor consiste en reconstituirlo a partir del comportamiento de los individuos y deducir el valor que cada uno atribuye a los SA. Por ejemplo, bañarse en un río, o ir a pescar insume gastos de tiempo y dinero, que son un indicador del beneficio que el ambiente aporta. Otro ejemplo, es el diferente valor que adquieren las propiedades de acuerdo a su ubicación en función del ruido.

A continuación se explica brevemente los principales métodos de valoración ambiental:

Método de valoración contingente: es un método directo de valoración económica. Debido a la ausencia de mercados propios o relacionados para los activos ambientales, este método de valoración simula un mercado mediante una encuesta que se realiza a una muestra representativa de la población de usuarios del bien o servicio ambiental, preguntándole básicamente sobre su disponibilidad a pagar. Las estimaciones del valor económico obtenidas son “contingentes” porque los valores estimados son derivados de una situación hipotética que es presentada por los investigadores a los entrevistados se obtiene por medio de preguntas directas a los consumidores. Las fases para realizar una valoración contingente son:

1. Definir con precisión lo que se desea valorar en unidades monetarias.
2. Definir la población relevante.
3. Concretar los elementos de simulación del mercado.
4. Decidir la modalidad de entrevista.
5. Seleccionar la muestra.
6. Redactar el cuestionario.
7. Realizar las entrevistas.
8. Analizar estadísticamente las respuestas.
9. Presentar e interpretar los resultados.

Método del coste del viaje: utilizado para valorar espacios naturales públicos como lagos, ríos, bosques y ecosistemas marinos, que brindan servicios de recreación y esparcimiento. Se basa en el supuesto de que los consumidores valoren un SA en no menos que el costo de acceso al recurso, incluyendo todos los costos directos de transporte, así como también el costo de oportunidad el tiempo gastado en viajar al sitio. El técnico simula el trabajo de un arqueólogo que sigue las huellas que van dejando los individuos acerca de las valoraciones de los SA a medida que responden a los precios y otras señales económicas en sus elecciones reales. Se realizan encuestas donde se evalúa el interés por el SA preguntando de donde proviene el viajero y sus características socioculturales; luego aplicando técnicas de regresión se estima su disponibilidad a pagar.

Método de precios hedónicos: este método intenta aislar la influencia específica de un servicio ambiental sobre el precio de mercado de un bien o servicio. A través de técnicas estadísticas de regresión, se descompone el precio final en cada uno de sus atributos, siendo la incógnita el atributo ambiental. Un ejemplo de su aplicación se cita a Tyrväinen y Mettinen (2000), que demuestran que en Salo (Finlandia) se paga un 4,8% más por una vivienda que tenga vistas a un bosque, aquí se está valorando la belleza escénica como SA.

Método de costes evitados: este procedimiento parte del supuesto de que los costos de prevención de daños ambientales son asumidos por toda la sociedad, por lo cual brinda un indicador del valor del bien examinado. Identifica los efectos positivos o negativos que produce un cambio en la calidad de un recurso. Se emplea, por ejemplo, para medir el impacto de la calidad del aire, el nivel de ruidos o la proximidad de zonas verdes en los costos del sistema de salud. Las técnicas basadas en costos son utilizadas cuando existe una limitación de tiempo y recursos para una estimación rigurosa del valor de los servicios ambientales dado que no miden la disponibilidad de pagar los SA y por lo tanto puede subestimar sus valores.

La cuantificación de la disposición a pagar, por las dificultades metodológicas derivadas de la gran complejidad de los sistemas a valorar, es un factor que obstaculiza su aplicación. Es mucho más sencillo fijar el valor mínimo de las compensaciones, a través del cálculo de los costos de cambio de un sistema productivo poco sostenible a uno sostenible, pero al no conocer la disposición a pagar es muy difícil alcanzar un valor de equilibrio.

Estas trabas llevan a que la fijación de las compensaciones se realice en forma arbitraria, yendo en contra de los postulados teóricos y no alcanzando el óptimo social.

Para que sea posible la venta de servicios se debe dar la condición de que los costos de reconversión y administración sean inferiores a la disposición a pagar. Al ser los demandantes comunidades mayoritariamente pobres, esta tiende a ser baja y en muchos casos los ingresos a percibir no compensan los costos de adherirse a la operatoria. La experiencia Centroamericana basó su funcionamiento en la financiación mediante cooperación internacional y tuvo impacto positivo mientras se mantuvo la ayuda externa. La restricción es que para sostenerse sin subsidio, el pago lo deberían continuar comunidades pobres que no tienen la capacidad económica para hacerlo, entonces al retirar los subsidios el mecanismo se torna antieconómico.

Estructura para la implementación de un PSA

El PSA es un mecanismo que se financia con una lógica de mercado, a través de cobros a los demandantes de SA y pagos de actividades verificables a los productores. Si existe la demanda de un recurso y la oferta es capaz de satisfacer en forma adecuada dicha demanda, el PSA consistirá en coordinar los flujos financieros que deban producirse a través de tarifas e

impuestos, de tal forma que los demandantes alcancen a satisfacer su necesidad a cambio de un precio acorde y que a su vez este precio sea el suficiente para que el oferente cubra como mínimo sus gastos de producción y se pueda financiar la gestión y conservación del SA de manera sustentable.

Cuando se planifica un sistema de PSA se debe tener en cuenta los siguientes requisitos, resumidos en la figura 8.2:

1. Las transacciones se efectúan sólo si el suministro del servicio está asegurado: implica que los eventuales pagos se deberían realizar en forma periódica para promover el cumplimiento continuo del suministro del servicio y para proveer una oportunidad para que el usuario pueda suspender las retribuciones en caso de incumplimientos (Wunder, 2005).
2. La voluntariedad de las partes concurrentes: es particularmente importante para los proveedores, puesto que deben tener opciones de uso del suelo. Generalmente, las opciones son las que dan lugar a los costos de oportunidad para el uso promovido y esto justifica la retribución que percibirá por las oportunidades perdidas. Si no se han desarrollado prácticas sustentables no tiene sentido un PSA.
3. Los monitoreos: debido a las características explicadas se plantea la necesidad de implementar un sistema de monitoreo del cumplimiento de las obligaciones de las partes que se comprometen.
4. Asegurar la adicionalidad del PSA: los usuarios de los servicios necesitarán la garantía de que sus pagos tendrán efecto positivo y que dicho efecto no se hubiera producido de no existir la retribución
5. Evitar las fugas: Instalar un sistema de PSA presenta la posibilidad de que las actividades promovidas produzcan un desplazamiento de actividades indeseables hacia áreas fuera del área promovida, fenómeno conocido con el nombre de filtración o fuga. Por ejemplo, el pago a pobladores rurales que extraen leña de manera no sostenible para que no extraigan, como necesitan combustible y si no hay medidas para promover el uso de otros sustentables, es probable que dejarán de recolectar para comprar leña proveniente de otras áreas.
6. Permanencia de los beneficios: los PSA deben asegurar la permanencia de los beneficios ambientales logrados en el tiempo. Dado que se promueve un cambio en los modos de vinculación social con los recursos naturales y que estos son inherentemente dinámicos, es necesario contar con garantías de que los beneficios no sean fácilmente reversibles mientras duren los términos contractuales.

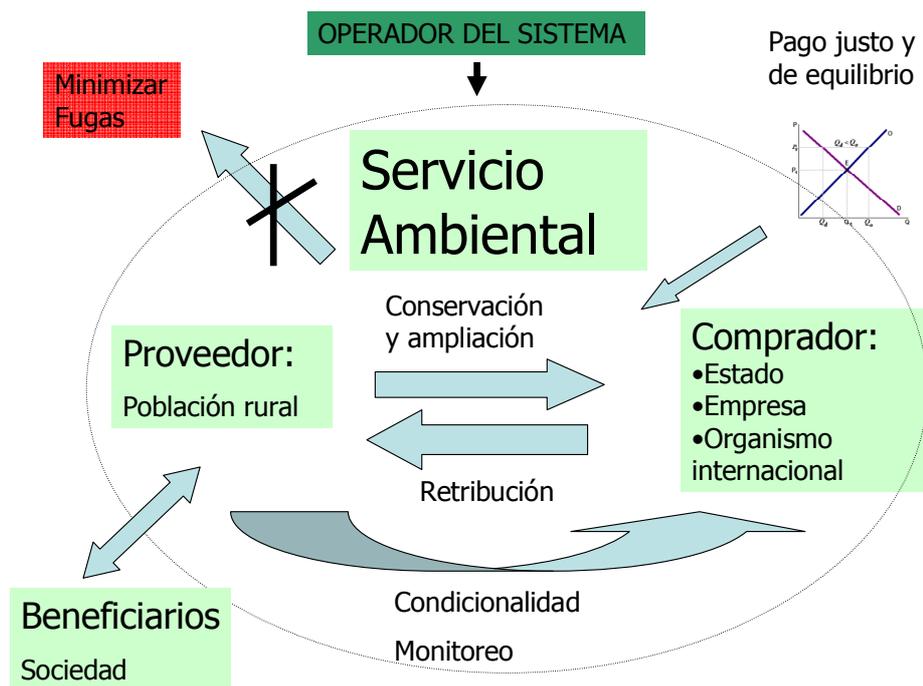


Figura 8.2. Síntesis de la estructura de un sistema de PSA

La estructura de un PSA está compuesta básicamente por:

- Proveedor: propietarios u ocupantes de un predio que por medio de un cambio en el uso del suelo genera, mantiene o aumenta un SA.
- Operador: entidad responsable de la implementación del proyecto. Debe administrar los recursos para la mejora en la provisión de los SA de cada predio, suscribir el contrato con cada uno de los proveedores, monitorear el cumplimiento, prestar asistencia técnica y gestionar el pago con los beneficiarios.
- Comprador: la persona natural o jurídica que aporta los recursos para la financiación de los proyectos de PSA.
- Beneficiario: personas que se benefician del servicio ambiental, independientemente que paguen o no.

Creación de mecanismos para la comercialización de SA.

La sustentabilidad del sistema depende de la elección de mecanismos que simulen o creen mercados para los SA; no hay reglas generales para ello, y para cada condición ambiental, económica y social se necesita una cierta dosis de creatividad.

Existen tres formas básicas:

1. Contratos privados entre productores y beneficiarios de SA.

El mecanismo parte de contratos privados en donde los productores y beneficiarios individuales de los servicios los comercializan libremente sin o con poca intervención del Estado, pero manteniendo su rol de control³. Los compradores pueden ser empresas u organizaciones conservacionistas, quienes pagan a los poseedores de las tierras para mejorar las prácticas de manejo. Este sistema es el que recomienda el Banco Mundial y el GEF como forma de mejorar la calidad de vida de los pequeños campesinos. Según DeHek et al (2004) si bien no está del todo cuantificado en sus beneficios sociales, este sistema aplicado a cuencas hidrográficas es un mecanismo válido para aliviar la pobreza.

En Argentina aún no existe este tipo de contratos. En este marco, se plantearon dos estudios de casos por parte de SAyDS (2007). Uno en la Cuenca del Río Futaleufú, Provincia de Chubut, donde se pretendía que el “demandante fuera la empresa de aluminio ALUAR que produce energía hidroeléctrica a partir de la presa Futaleufú y el oferente el servicio de Parques Nacionales”, donde se encuentra la mayoría de la cuenca. El proyecto no avanzó. En ese sentido, no tuvo relación con uno de los objetivos básicos de los PSA de mejorar las condiciones de vida de los pobladores locales, dado que el Parque no cuenta prácticamente con población.

El otro ejemplo fue en la cuenca Los Pericos-Manantiales, provincia de Jujuy, donde la complejidad es mayor dado que gran parte de la población presentan necesidades básicas insatisfechas y la tenencia de la tierra es precaria. En este caso se planteó que los demandantes del PSA serían los productores tabacaleros (agrupados en consorcio de riego). Los formuladores del proyecto establecieron de manera taxativa una tarifa, establecida sobre una consulta al Presidente de la Cámara del Tabaco de Jujuy. Además, se incluía a la empresa hidroeléctrica local, aunque sin establecimiento de una disponibilidad a pagar. Los oferentes estarían conformados por la población ubicada aguas arriba de la presa existente en la cuenca. Para el cálculo de la compensación se estimaron los costos de reconversión de los sistemas productivos asociados.

Un ejemplo similar es el desarrollado para la Cuenca del Río Sauce Grande en el Suroeste de la Pcia de Buenos Aires. Allí se propone un PSA que por cuestiones político económicas no se viabiliza (Denegri y Gaspari, 2010), partiendo del costo de reconversión de los métodos de cultivo, calcularon el costo de un metro cúbico de agua (Carrascal Leal et al, 2013).

Para buscar ejemplos de implantación de este sistema hay que recurrir a la experiencia centroamericana, donde los PSA fueron aplicados en mayor proporción.

Por ejemplo, en El Salvador existen experiencias independientes que generaron pagos tarifarios por un servicio de agua potable rural. A casi una década de su implementación algunos siguen vigentes porque el servicio se prestó con eficiencia y calidad, superando a la situación imperante al momento. En otros casos, hubo ejecuciones parciales, donde la participación de la cooperación internacional forzó a incluir el cobro a los demandantes. De

³ Eso no impide que una de las partes sea un municipio o una empresa de servicios público no importa qué tipo de gestión posea.

este modo, se acumularon los fondos de PSA y no se hicieron los pagos a los propietarios de los terrenos en donde se ubicó la mejora que rápidamente fueron abandonadas.

El caso de Costa Rica es muy particular ya que la iniciativa surgió a partir de un impuesto al combustible dedicado a financiar acciones forestales. El mecanismo propició la consolidación del Fondo de Financiamiento Forestal y ha sido clave en el financiamiento de la restauración de ecosistemas del país. Posteriormente, el fondo se reconvirtió a otro para pago por los servicios que brindan los ecosistemas forestales, el cual ejecuta a través de contratos entre los productores y el Estado, que aporta recursos a un fondo. No obstante, el nuevo mecanismo lleva a un exceso de pedido de subsidios que el fondo no puede cubrir. Lo destacable de la plataforma institucional de Costa Rica es que el Estado maneja en forma integrada además de este los otros dos mecanismos de PSA, sumando –también de los aportes del gobierno– fondos de la cooperación internacional, los obtenidos por la venta del SA de secuestro de carbono (protocolo de Kyoto y mercados voluntarios) y de la venta de servicios ambientales a firmas fuera del país que los compran por responsabilidad social empresarial. Este conjunto de acciones y mecanismos les ha permitido manejar temas de agua, biodiversidad y cambio climático en forma holística y de manera eficiente.

2. Mercados formales con intercambio abierto

Existen dos tipos de mercados para SA, uno regulado o legal y otro voluntario. En el primer tipo se crea a través de una legislación que induce la demanda para un SA particular, estableciendo un “límite en el daño” que se quiere reducir. Por su parte, los usuarios o responsables de la disminución del daño responden ya sea cumpliendo directamente o intercambiando con otros que son capaces de sobre cumplir la regulación a un menor costo o comprando un SA que remedie el daño que produjeron. El ejemplo de este sistema es el mercado de gases de efecto invernadero -sólo en el caso de secuestro de carbono a través de generar un cambio en el uso de suelo como puede ser la forestación-; para ello, existe un mercado institucionalizado supra-nacional, que entró en vigencia con el Protocolo de Kioto (2005) a partir del mecanismo de desarrollo limpio. Por otra parte hay mercados voluntarios como el “UK Emission Trading Scheme” en el Reino Unido o el “Chicago Climate Exchange” luego reemplazado por el Over the counter market (OTC) en EE.UU, donde las reducciones son voluntarias y responden a estrategias de las firmas, por ejemplo la responsabilidad social empresarial; en este caso compran el SA de secuestro de carbono, ofrecido por los productores.

En el mercado institucionalizado de secuestro de carbono, Argentina posee un solo proyecto que está aprobado a nivel internacional y que está en condiciones hoy de emitir los bonos correspondientes; pertenece a la firma NOVARTIS: es el “Proyecto Santo Domingo” ubicado en la provincia de Corrientes⁴.

Asimismo, en la región patagónica hubo algunas experiencias pilotos facilitadas por la Cooperación Alemana a fines de los años 90. También se registran algunas iniciativas que se

4 Para mayor información consultar: <<http://www.novartis.com.ar/novartis-argentina/responsabilidad-social-empresaria/santo-domingo.pdf>>.

no pasaron de la etapa de formulación nacional (Corporación Pulmarí en Neuquén, OPDS en Buenos Aires, Vialidad Nacional, de la Provincia de Bs As y de la de San Luís).

Según Finanzas de carbono para América Latina⁵, “solo el 0,7% de los proyectos mundiales aprobados corresponden a secuestro a través de forestación (predominando los de cambio de combustible), mientras que en América Latina el porcentaje se eleva al 2%, siendo Brasil, México y Chile los países que concentran la mayoría, a través de grandes empresas”. Por otra parte, el sitio concluye que “las proyecciones para el segundo período de compromiso del Protocolo de Kioto (post 2012) se registrará una fuerte restricción de demanda que impactará, inevitablemente, en el desarrollo de nuevos proyectos, incluida América Latina y además en los precios de equilibrio del mercado de carbono”.

Un caso destacable por el carácter de los actores participantes se registra en Paraguay. Se trata de un proyecto MDL que agrupa a numerosos productores pequeños, financiado por la cooperación japonesa y que logró vender bonos en el mercado oficial, aunque de no ser por la ayuda de ese país, el costo administrativo de la operatoria hubiera dado pérdidas a los productores⁶.

En resumen, el mercado oficial (“Kyoto”) parece estar en crisis y, por otra parte, en el voluntario ningún proyecto argentino ha podido acceder hasta la fecha con éxito. Asimismo, la experiencia internacional muestra que es una operatoria factible sólo para grandes empresas, si no existe un subsidio a lo largo de todo el proceso.

3. Pagos públicos a tenedores de tierras para mantener o mejorar un servicio ambiental

Este mecanismo no responde a la lógica de mercado ni a los postulados de la economía ambiental. Se basa en pagos públicos a tenedores de tierras para mantener o mejorar un servicio ambiental. Aquí el gobierno establece programas específicos de conservación y comúnmente involucran pagos directos de una institución pública, a los propietarios o administradores de los establecimientos.

Paradójicamente, este mecanismo está vigente en la legislación argentina desde el año 1948 con la Ley 13.273 de Defensa de la Riqueza Forestal, para bosques definidos como protectores, aunque nunca se implementó. La legislación proponía pagar una compensación a los propietarios de bosques declarados como protectores por la autoridad competente, surgido de la diferencia entre la producción maderera que podría obtenerse por manejar ese bosque en forma sostenible (básicamente cortar la cantidad de madera equivalente al crecimiento de cada año) y lo que se permitía realmente cortar.

El pago es retomado por la ley 26.331, implementada ralmente en el año 2010. Primeramente, en su artículo 5º define SA como: “los beneficios tangibles e intangibles, generados por los ecosistemas del bosque nativo, necesarios para el concierto y supervivencia del sistema natural y biológico en su conjunto, y para mejorar y asegurar la calidad de vida de los habitantes de la Nación”. Luego, otorga a los titulares de las tierras con bosques nativos que presenten planes de conservación o manejo sustentable una compensación por los

5 <<http://finanzascarbono.org/mercados/mecanismo-desarrollo-limpio/estadisticas/>>.

6 Para mayor información consultar <<http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/TUEV-SUED1245074838.6/view>>.

servicios ambientales. La implementación de este sistema fue complicada y dificultosa, por la insuficiente capacidad técnica y logística de los organismos de aplicación tanto provinciales como nacionales y la poca experiencia específica de los profesionales intervinientes en las regiones forestales. Ante este escenario, la Secretaría de Ambiente de la Nación debió ampliar el presupuesto destinado a ampliar y jerarquizar la planta técnica, al igual que en algunas provincias, incluyendo la realización de cursos para preparar a profesionales independientes en la presentación de planes.

Otra dificultad surgió debido a que la ley establece que los pagos se realizarán contra la aprobación de los Planes de Manejo y de Conservación, como primera exigencia; mientras que la efectivización se concreta a partir de la presentación de los planes operativos anuales. La realidad muestra que la formulación del plan es tan costosa como su implementación y, en consecuencia, se debió crear la categoría de “Proyecto de Formulación de Plan de Manejo o Conservación⁷”, dada la dificultad a la que se enfrentaban los pequeños y medianos productores de no poder financiar la confección del plan.

En el gráfico 8.1 se aprecia la cantidad de planes aprobados desde la implementación. Si bien la tendencia es creciente, el fenómeno se debe básicamente a la incorporación paulatina de provincias que aprobaron su Ley provincial de ordenamiento territorial, condición mínima para acceder a los fondos. No obstante, la superficie pagada por los servicios ambientales es casi la mitad de lo mostrado en el gráfico, dado que para el año 2012 el 44% de los planes presentados correspondieron solamente a la categoría de Proyecto de Formulación.

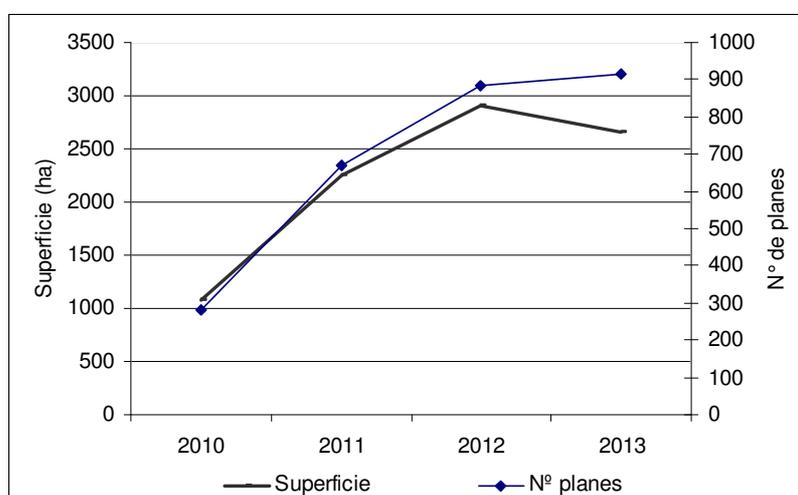


Gráfico 8.1. Evolución de la aprobación de planes.

Fuente: Elaborado a partir de datos de la SAyDS (2010-2012 publicados en su página WEB y 2013 de consulta a profesionales entrevistados).

A esta altura del análisis, corresponde rescatar el sistema de subsidios aplicado por la Política Agrícola Común de la Unión Europea desde 1992, mediante programas agro-ambientales, incentivando a los agricultores para implementar prácticas del uso de suelo

⁷ La formulación implica realizar un inventario de los recursos naturales existentes en el área a manejar con el consecuente desarrollo de significativas y costosas tareas de campo.

ambientalmente benéficas, recibiendo una compensación por métodos menos intensivos para el manejo de suelos, basándose en presuntas pérdidas de ingresos y los costos de implementación. Sólo en Alemania, el volumen financiero anual de los programas agroambientales (con fondos presupuestales UE, federales y estatales) asciende a 870 millones de dólares y para toda la UE alcanzó la cifra de 30 mil millones de dólares (Hartman y Petersen, 2005). Así, se produce un cambio de paradigma interesante en cuanto a los subsidios, ya que en vez de promocionarse el aumento continuo de la producción, procura que los actores tengan una actitud amigable con el ambiente, sin perjuicio en sus finanzas. Es probable que el motivo de este cambio virtuoso, no haya sido la preocupación ambiental “per se” sino el de acotar el peso del monto de los subsidios en los presupuestos europeos.

A modo de cierre

Adicionalmente, la complejidad ambiental y social de los temas involucrados en los PSA, excede la posibilidad de materializarlos solamente a través de mecanismos de mercado. En todo caso, quizá pueden llegar a ser un instrumento más, dentro de una estrategia de desarrollo del país.

En la Argentina el abordaje e implementación es más complejo, dada su heterogeneidad de ambientes, estructuras sociales y sistemas productivos. A esta circunstancia se le agrega la existencia de diferentes niveles del estado (Nacional, Provincial y Municipal) con atribuciones y capacidades disímiles para intervenir en un mismo territorio. De esta situación, se deriva que – probablemente- una aplicación exitosa de los PSA pase por la combinación de los diferentes sistemas decidida y financiada estratégicamente por el Estado, discriminadas según las particularidades de áreas y actores involucrados, en el marco de una política ambiental y de manejo de los recursos naturales integral.

Bibliografía

- Ameghino, F. (1884). *Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires – Obras de retención y no de desagüe*. Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires. La Plata: Quinta Edición.
- Balvanera, P.; Castillo, A.; Lazos Chavero, E.; Caballero, K.; Quijas, S.; Flores, A.; Galicia, C.; Martínez, L.; Saldaña, A.; Sánchez, M.; Maass, M.; Ávila, P.; Martínez, Y.; Galindo, L.M. y Sarukhán, J. (2010). “Marcos conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en América Latina”, en Littera P.; Jobaggy E.G. y Paruelo J.M. (2010). *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA.
- Bear, J. (1972). *Dynamics of Porous Media*. Nueva York: Dover publications, Inc.
- Bennett, H.H. (1965). *Soil conservation*. Nueva York: McGraw Hill Book Company, Inc.
- Bertoni, J.C. (1997). *Hidrología de proyecto. Manual de control de la erosión hídrica*. Córdoba: Ed. Universidad Nacional de Córdoba.
- Bonham-Carter, G.F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling With Gis*. Estados Unidos: Elsevier.
- Carrascal Leal C., Denegri G. Delgado M. (2013). “Costos mínimos de compensación y cuantificación de la oferta hídrica en la cuenca alta del Río Sauce Grande. Argentina”, en *Investigaciones Geográficas*, N°80. México: UNAM.
- Carrie, J. (2004). *Manual de manejo de cuencas*. En línea. Disponible en <http://biblioteca.catie.ac.cr/cursocuencas/documentos/Manual_de_Manejo_de_Cuencas_Vision_Mundial_mod.pdf>. Canadá: World Vision.
- Chow, V.; Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Santa Fe de Bogotá: Editorial McGraw-Hill Interamericana.
- Convenio sobre la biodiversidad biológica. Naciones Unidas. 1992. En línea. Disponible en: <<https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>>.
- Custodio, E. y Llamas, R. (1996). *Hidrología Subterránea*. Tomo 1. Barcelona: Ediciones Omega. Segunda edición.
- De Hek, S.; Kiersch, B. y Mañón, A. (2004). “Aplicación de Pagos por Servicios Ambientales en manejo de Cuencas Hidrográficas: lecciones de experiencias recientes en América Latina”. Comunicación presentada al Taller en Pago por servicios Ambientales. Barcelona.
- Denegri G. y Gaspari F. (2010). “Lineamientos para la formulación de pagos por servicios ambientales. Estudio de caso: alta cuenca del Río Sauce Grande. Argentina”, en *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*. N°46 (1), Pp.96-110. Granada.

- Dourojeanni, A. (1990). "Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable (Aplicado a microrregiones y cuencas)". Documento 89/05/Rev.1. Serie de ensayos.
- Dunne, I. (1978). "Field studies of hillslope flow processes", en Kirkby, M. (cci.). *Hillslope Hydrology*. Nueva York: Wiley.
- Durang, T., Carrera, F. y Rocha, R. (1998). *Evaluación de tierras, estudio del uso y manejo campesino de tierras Andinas; aspectos técnicos y biofísicos*. Cochabamba: UMSS-PEIRAV.
- Egger Anne E. (2003). "El Ciclo Hidrológico: el viaje del agua a través del tiempo", en *Vision learning* Vol. EAS-2 (2s).
- FAO (1967). "La Erosión del Suelo por el Agua: Algunas medidas para combatirlas en las tierras de cultivo", en *Colección FAO, Fomento de Tierras y Aguas*, N°7. Roma. (También *FAO: Cuadernos de fomento agropecuario*, N°81). Disponible en web.
- (1993). "Forest Resources Assessment 1990, Tropical Countries", en *FAO Forestry Paper*, N°112. Disponible en web. Roma.
- (2003). "Payment Schemes for environmental services in watershed", en *Land and water discussion*. Arequipa: Foro Regional Arequipa.
- (2007). *Estudio FAO: Montes 150. La nueva generación de programas y proyectos de gestión de cuencas hidrográficas*. En línea. Disponible en: <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0644s/a0644s09.pdf>>.
- (2015). *AGP. Biodiversidad y servicios de ecosistema*.
- FAO-PNUMA-UNESCO. (1981). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma: Publicaciones FAO.
- Farmer, D.; Sivapalan, M.; Jothityangkoon, C. (2003). "Climate, soil, and vegetation controls upon the variability of water balance in temperate and semiarid landscapes: Downward approach to water balance analysis", en *Water Resources Research*, Vol. 39, N° 2. Pp 1-21.
- Fertonani, M. y Prendes, H. (1983). "Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales teóricos y metodológicos", en *Actas del Coloquio de Olavarría de Hidrología de las grandes llanuras*, Vol. I, Pp. 118-156. Buenos Aires.
- Franquet Bernis, J. (2005). *Agua que no has de beber. 60 respuestas al Plan Hidrológico Nacional*. En línea. Disponible en: <<http://www.eumed.net/libros-gratis/2005/jmfb-h/jmfb-h%20.zip>>. España.
- Fuschini Mejía, M. (1994). *El agua en las llanuras*. Montevideo: UNESCO/ORCYT.
- Gaspari, F. (2002). *Plan de ordenamiento territorial en cuencas serranas degradadas. Aplicación de sistemas de información geográfica. Huelva. España*. Buenos Aires: Ediciones cooperativas.
- Gaspari, F.; Delgado, M.; Senisterra G. (2009). "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense", en *GeoFocus* N°9, Pp. 67-82. Buenos Aires.
- Gaspari, F.; Senisterra, G.; Delgado, M.; Rodríguez Vagaría, A.; Besteiro, S. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. La Plata: Editorial Autores.

- Gaspari, F.; Rodríguez Vagaría, A.; Senisterra, G.E.; Denegri, G.; Delgado, M.; Besteiro, S. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande*. Buenos Aires: AUGMDOMUS, Asociación de Universidades Grupo Montevideo.
- Gómez Sal, A. (2012). "Agroecosistemas, Evaluación de los tipos operativos de ecosistemas", en *Evaluación de los ecosistemas del milenio de España*. España.
- Groot, R.; Fisher, B.; Christie, M.; Aronson, J.; Braat, L.; Gowdy, J.; Haines-Young, R.; Maltby, E.; Neuville, A.; Polasky, S.; Portela, R.; Ring, I. (2010). "Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation", en *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*. Estados Unidos: The Ecological and Economic Foundations.
- Halweil, B. (2005). "As Chinese Buildings Rise, Asia's Forests Fall", en *World Watch*, January/February, Vol. 18: 1.
- Hartman, J.; Petersen, L. (2005). "El mercadeo de servicios ambientales: lecciones aprendidas en el desarrollo cooperativo alemán", en *Gaceta ecológica*, N°77. Pp. 51-66.
- Henaos, J. (1988). *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*. Universidad Santo Tomás. Centro de enseñanza desescolarizada. Bogotá. En línea. Disponible en: <<http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/biodiversity0/es/#bio1>>.
- INTA. (1986). "Aptitud y uso de las tierras argentinas". P.N.U.D.. Argentina 85/019. Area Edafología.
- (2010). Seminario Servicios ecosistémicos y sustentabilidad de agro-ecosistemas: fomentando nuestra "eco-industria" regional.
- Iriondo, M. (1986). "Modelos sedimentarios de cuencas continentales: las llanuras de agradación". Congreso Latinoamericano de hidrocarburos. Buenos Aires.
- Jobbágy, E. (2011). "Servicios hídricos de los ecosistemas y su relación con el uso de la tierra en la llanura chaco-pampeana", en Lattera, P.; Jobbágy, E.; Paruelo, J. (2010). *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA.
- Jobbágy, E. y Santoni, C. (2006). "La (nueva) agricultura y la hidrología en la llanura chaco pampeana: Desafíos para los próximas décadas". XXII Reunión Argentina de Ecología: Hechos y Perspectivas.
- Kent, K. (1968). *A method for estimating volume and rate off runoff in small watersheds*. SCS-TP-149. Estados Unidos: Soil Conservation Service.
- Kirkby, M. (1994). *Erosión de suelos*. México: Uteha, Noriega editores.
- Landell-Mills, N.; Porras, I. (2002). *Silver bullet or fools' gold?: a global review of markets for forest environmental services and their impact on the poor*. Londres: International Institute for Environment and Development.
- Lattera, P. (2010). "Servicios ecosistémicos: valorando la producción oculta en los paisajes rurales", en INTA (2010). *Seminario Servicios ecosistémicos y sustentabilidad de agro-ecosistemas: fomentando nuestra "eco-industria" regional*. INTA.
- Lattera, P. y Nahuelhual, L. (2014). "Internalización de los servicios ecosistémicos en el ordenamiento territorial rural: bases conceptuales y metodológicas", en Paruelo, J.;

- Jobbágy, E.; Littera, P.; Dieguez, H.; García Collazo, M.; Panizza, A. (eds) (2014). *Ordenamiento Territorial: Conceptos, Metodologías y Experiencias*. UBA: FAO/MAG.
- Littera, P.; Jobbágy, E.; Paruelo, J. (2010). *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Llorens, P. (2003). "La evaluación y modelización del balance hidrológico a escala de cuenca. Ecosistemas", en *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, N°1. Asociación Española de Ecología Terrestre. Alicante.
- López Cadenas del Llano, F. (1998). *Restauración hidrológico forestal y control de la erosión. Ingeniería Ambiental*. Tragsa-Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente. Madrid: Ediciones Mundiprensa.
- Luzio, W. y Alcayaga, S. (1992). "Mapa de asociaciones de grandes grupos de suelos de Chile", en *Agricultura Técnica*, N°52(4). Chile.
- McFadden, L. y Knuepfer, K. (1990). "Soil geomorphology: the linkage of pedology and surficial processes", en *Geomorphology*, N°3.
- MEA (2005). *Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación*. Recuperado de <<http://www.maweb.org>>.
- Michelena, R. (2011). "Degradación de tierras en la Argentina". Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria (ANAV) Anales de la ANAV Tomo LXV.
- Mintegui Aguirre, J. y López Unzué, F. (1990). *La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco*. Bilbao.
- Moreno, C. (2001). "Métodos para medir la biodiversidad", en *M&T-Manuales y Tesis SEA*, vol. 1. Zaragoza.
- MPFIPS (2012). *Anteproyecto de Ley Nacional de Planificación y Ordenamiento Territorial del Ministerio de Planificación Federal*. Inversión Pública y Servicios de la Nación Argentina. En línea. Disponible en: <<http://www.planif-territorial.gov.ar/html/anteproyecto/doc/anteproyecto.pdf>>.
- Muñoz Pedrero, A. (2004). "La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental", en *Revista Chilena de Historia Natural*, N°77.
- Naciones Unidas (2000). "Manual de sistemas de información geográfica y cartografía digital", en *ST/ESA/STAT/Serie F*, N°79. Nueva York. En línea. Disponible en: <http://unstats.un.org/unsd/publication/SeriesF/SeriesF_79s.pdf>.
- Oldeman, L. (1988). *Guidelines for general assessment of the status of human-induced soil degradation. Working paper and preprint 88/4*. (ed) ISRIC, Wageningen.
- Ortiz Vera, O. (2004). "Evaluación hidrológica", en *Revista Hidrored*. Pp 2-7. Perú.
- Pagiola, S.; Landell-Mills, N.; Bishop, J. (2002). *Market-based mechanisms for forest conservation and development. Selling Forest Environmental Services. Market-based Mechanisms for Conservation and Development*.
- Pagiola, S.; Platais, G. (2002). "Payments for environmental services", en *Environment Strategy Notes*, N°3(4). Pp. 1-23.

- Paruelo, J.; Jobbagy, E.; Sala, O. (2001). "Current distribution of ecosystem functional types in temperate South America", en *Ecosystems*, N°4. Pp. 683-698.
- Paruelo, J.; Alcaraz-Segura, D.; Volante, J. (2010). "El seguimiento del nivel de provisión de los servicios ecosistémicos", en Littera, P.; Jobbagy, E.; Paruelo, J. (2010). *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Buenos Aires: Ediciones INTA.
- Rábade Blanco, J. (2006). *La ordenación agrohidrológica de cuencas como herramienta en la planificación de la lucha contra la desertificación y el despoblamiento del medio rural*. En línea. Disponible en: <www.sidym2006.com/imagenes/pdf/ponencias/17_se.pdf>.
- Rauber, R. (2013). *La importancia de la preservación en la biodiversidad*. En línea. Disponible en: <<http://inta.gob.ar/noticias/la-importancia-de-la-preservacion-en-la-biodiversidad/>>.
- Rodríguez, J. P. (2005). *Sobre Diversidad Biológica: el Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. Halffter G, Soberón J, Koleff P, Melic, A. (Eds.). Zaragoza.
- Rodríguez Vagaría, A. y Gaspari, F. (2010). "GeoQ: Herramienta para la determinación del número de curva y escorrentía bajo entorno SIG. Idrisi Andes®". En *GeoFocus* (Informes y comentarios), N°10, pp11-26.
- Roy Mora Vega (2012). "Servicios ambientales y ecosistémicos: conceptos y aplicaciones en Costa Rica". En *Puentes*, Vol. 13-2. En línea. Disponible en: <www.ictsd.org/bridges-news/puentes/news/servicios-ambientales-y-ecosist%C3%A9micos-conceptos-y-aplicaciones-en-costa>.
- Rusch, V., Vila, A. y Marqués, B. (2008). *Conservación de la biodiversidad en sistemas productivos*. Bariloche: INTA.
- Sallies, A. (1999). "Clima e Inundaciones en la Pampa Deprimida". Floodplain Management Association – 17th Semiannual Conference, Sept-Oct 1999. Sacramento.
- Sampurno Bruijnzeel, L.A. (1997). Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Editors: E. K. Sadanandan Nambiar and Alan G. Brown. CSIRO Canberra Australia. 571 p.
- SAYDS Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2007. Consultaría para transferir experiencias internacionales de Pago por servicios ambientales y desarrollar bases para dos estudios de caso. En línea. Disponible en: <<http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/PBVyAP/File/PSA/Estudio%20de%20caso%20Futaleufu.pdf>>.
- Schaetzl, R., y Anderson, S. (2005). *Soils: genesis and geomorphology*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Scotta, E., Nani, L. y Codromaz de Rojas, A. (1989). *Propuesta metodológica para el control de erosión hídrica. Manejo de Suelos y Aguas en llanuras argentinas*. Santa Fe: INTA-CONAPHI.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Proyecto Bosques Nativos y Áreas Protegidas. 2005. Taller de Integración de los Proyectos PIARFON que se desarrollan en el País.

- Silva, V., Jiménez, A. y Quintero, G. (2010). "Las teorías de Pigou y Coase, base para la propuesta de gestión e innovación de un impuesto ambiental en México". En *Tlatemoani*, N°2. En línea. Disponible en: <<http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/02/sjq.pdf>>.
- Soriano, A. y Paruelo, J. (1992). Biozones: "Vegetation units of functional character identifiable with the aid of satellite images". En *Global Ecology and Biogeography Letters*, 2.
- Tyrväinen, L., y Miettinen, A. (2000). "Property prices and urban forest amenities". En *Journal of environmental economics and management*, 39(2).
- Verón, S., Jobbágy, E., Gasparri, I., Kandus, P., Easdale, M., Bilenca, D., Murillo, N., Beltrán, J., Cisneros, J., Lottici, V., Manchado, J., Orúe, E. y Thompson, J. (2010). "Complejidad de los servicios ecosistémicos y estrategias para abordarla". En Littera P., Jobbágy E. y Paruelo, J. (2010). *Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA.
- Vich, A. (1989). *Erosión hídrica: Estimación y medición de pérdidas de suelo. Curso Latinoamericano sobre detección y control de la desertización*. Buenos Aires: CRICYTME.
- Vieira, C. (2000). "Accuracy of Remotely Sensing Classification of Agricultural Crops: a Comparative Study". Tesis de Doctorado. Inglaterra: School of Geography at the University of Nottingham Nottingham.
- Ward, R. y Robinson, M. (1990). *Principles of Hydrology*. Londres: McGraw Hill.
- Welcomme, R. (1980). CUENCAS FLUVIALES. FAO. Documentos Técnicos de Pesca. Roma. Italia, N°202. En línea. Disponible en <<http://www.fao.org/docrep/003/X6853S/X6853S00.htm#indice>>.
- Whittaker, R. (1972). "Evolution and measurement of species diversity". En *Taxon*, 21 (2/3).
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). "Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning". En *Agricultural Handbook* N°537. Estados Unidos: USDA.
- Wunder, S. (2005). "Payments for environmental services: some nuts and bolts". En *CIFOR Occasional Paper*, 42. Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Zaccagnini, M. (2010). "Los servicios ecosistémicos de biodiversidad en los agroecosistemas pampeanos: definición, relaciones ecológicas-funcionales con la producción y los riesgos para su pleno aprovechamiento". En INTA 2010: Seminario Servicios ecosistémicos y sustentabilidad de agro-ecosistemas: fomentando nuestra "eco-industria" regional – INTA.
- (2011). "Manejo de Biodiversidad en Agroecosistemas. 22 años de aportes del INTA en Investigación, Extensión y Capacitación (1990-2011)". Publicaciones INTA. Zaccagnini, M.E. (Ed). Buenos Aires.
- Zhu, W., Wang, S. y Caldwell, C. (2012). "Pathways of assessing agroecosystem health and agroecosystem Management". *Acta Ecológica Sinica*, 32.
- Zinck, J. (2012). "Geopedología. Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales". Ed. ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.

Estudios de casos

Durante el desarrollo del presente libro, se presentó una base del conocimiento científico - tecnológico para el análisis de los servicios ambientales en cuencas hidrográficas, proporcionando avances sobre los enfoques teóricos y metodológicos de la degradación del suelo en paisajes de llanura, con un análisis crítico y de creatividad incrementando la capacidad conceptual e instrumental actual.

Los servicios hídricos-ambientales involucran la provisión de agua, que puede emplearse para distintos usos del suelo, como ser el consumo humano, riego, industria y recreación. Además analiza la regulación de los flujos de agua y su incidencia sobre las actividades antrópicas. El uso del suelo y su dinámica espacio temporal influye sobre la calidad del agua al afectar sobre los flujos de escurrimiento y de materiales suspendidos o disueltos que la acompañan, modificando la concentración de nutrientes, la carga total de sales, la presencia de contaminantes naturales y artificiales, y la abundancia de sedimentos.

La producción de estudios de servicios ambientales en cuencas hidrográficas expresan un conjunto de actividades para utilizar instrumentos y estrategias integrales de gestión del ambiente. Estos conforman estudios de caso cuyo objetivo es mejorar las capacidades profesionales para ejercer en institucionales de gobiernos nacionales y/o locales.

A continuación se presentan cuatro estudios de caso en cuencas hidrográficas para inducir al razonamiento hacia los servicios ambientales, dependiendo de datos observados, recolectados y analizados en forma particular. Los casos pueden producir nuevos conocimientos al lector o confirmar teorías conocidas. Son descripciones de resultados logrados en proyectos de estudio variados en territorios diversos de la República Argentina. Los mismos proporcionarán ayuda, conocimiento y/o instrucciones para el desarrollo de actividades profesionales, comprobando fenómenos descriptos, como así situaciones y/o hechos conocidos. Estos estudios de caso se desarrollan en cuencas hidrográficas de cuatro ambientes diferentes: zona de llanura, periserrana, serrana y montana de Argentina.

A. CUENCA HIDROGRÁFICA DE LLANURA

Dinámica de la distribución espacial de la erosión hídrica superficial

Fernanda J. Gaspari

El presente estudio de caso se basa en una representación de la dinámica espacial de la erosión con SIG, para identificar los patrones y mecanismos que controlan el fenómeno erosivo en una cuenca de llanura. Este ejemplo, fortalecerá la enseñanza de grado de las geotecnologías relacionadas con las incumbencias profesionales de los ingenieros agrónomos y forestales, a través de la aplicación del texto de apoyo antecedente, que vincula una disciplina estructural con otras de aplicaciones, para el desarrollo de actividades de formación.

En la llanura pampeana, de clima húmedo, bajas pendientes y la cobertura vegetal antropizada, la energía cinética de la precipitación puede ser absorbida y evitar cualquier remoción de partículas del suelo, con un buen manejo y conservación de sus suelos. Cabe mencionar, que los procesos erosivos en estos paisajes son influenciados por una elevada acción rural y urbana, modificando la cobertura vegetal, generando surcos –regüeros– cárcavas y la pérdida y transporte del suelo superficial y en profundidad. Estos procesos, disminuyen de la infiltración, generando un aumento del escurrimiento superficial. Por ello, la estimación de la tasa de erosión hídrica superficial de una misma combinación suelo – topografía - ubicación geográfica, bajo diferentes usos y manejos del suelo, permite la selección de alternativas sustentables desde el punto de vista de la conservación del recurso (Gaspari, 2007).

La metodología se basa en la generación de una base cartográfica para manejo de cuencas (Modelo del terreno, delimitación superficial de la cuenca, definición de capas temáticas componentes del SIG, integración de datos geográficos) y en el planteo de pautas de Ordenación Agrohídrológica de la cuenca hidrográfica (OACH), definiendo necesidades y objetivos de planificación de manejo de cuencas hidrográficas.

Caracterización del área

La cuenca en estudio es la del Arroyo del Tala, con una superficie de 89.211,31 has., se ubica al noreste bonaerense, Pampa ondulada, ocupando parcialmente los partidos de

Ramallo, San Pedro, Pergamino y Bartolomé Mitre. El clima es templado, presentando déficit hídrico en verano (Figura A.1) (Gaspari, 2007).

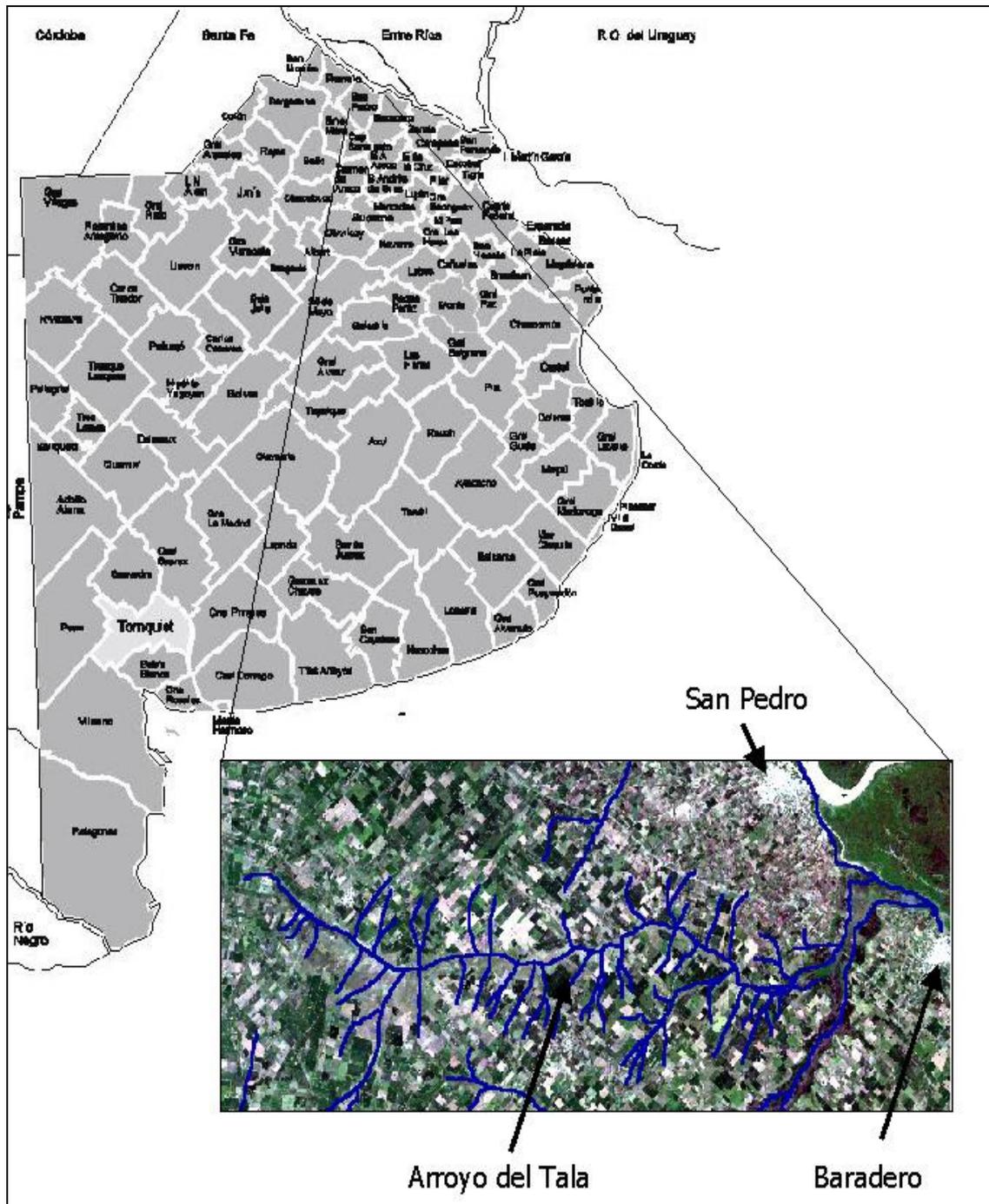


Figura A.1.: Mapa de ubicación de la cuenca del Arroyo del Tala en la Provincia de Buenos Aires, Argentina.

La definición del límite de cuenca se estableció por medio de la identificación de puntos de divisorias topográficas de agua (Figura A.2). Para ello se digitalizaron las cartas topográficas de IGM (1957) con un SIG generando vectores con valores altimétricos, con una equidistancia de 2,5 metros.

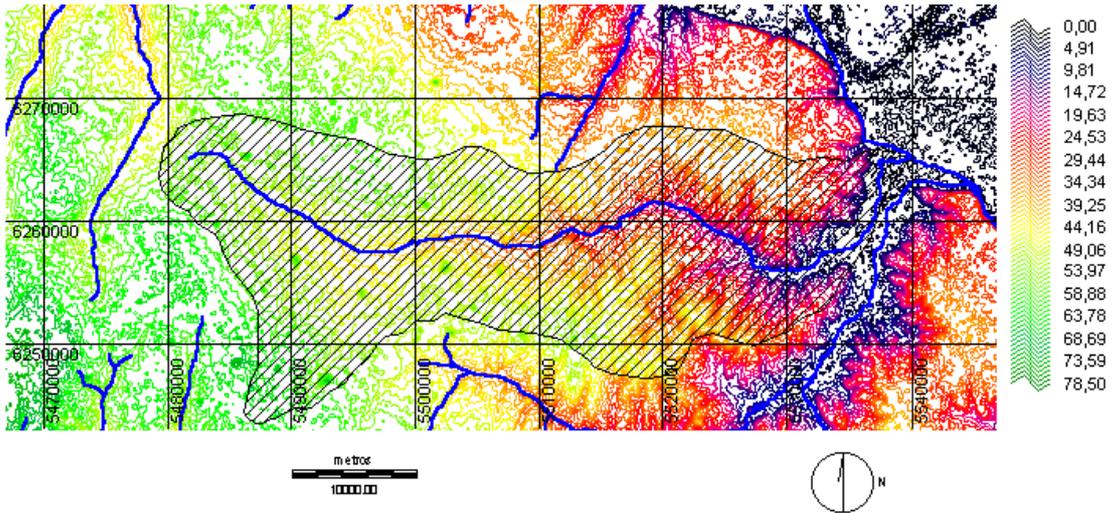


Figura A.2. Mapa topográfico de la cuenca del Arroyo Del Tala, con las curvas de nivel a una equidistancia de 2,5 metros, según IGM (1957).

Posteriormente se rasterizó dicha base de datos, y por la interpolación geoespacial, se generó un modelo digital del terreno (M.D.T.), en forma automática (Figura A.3).

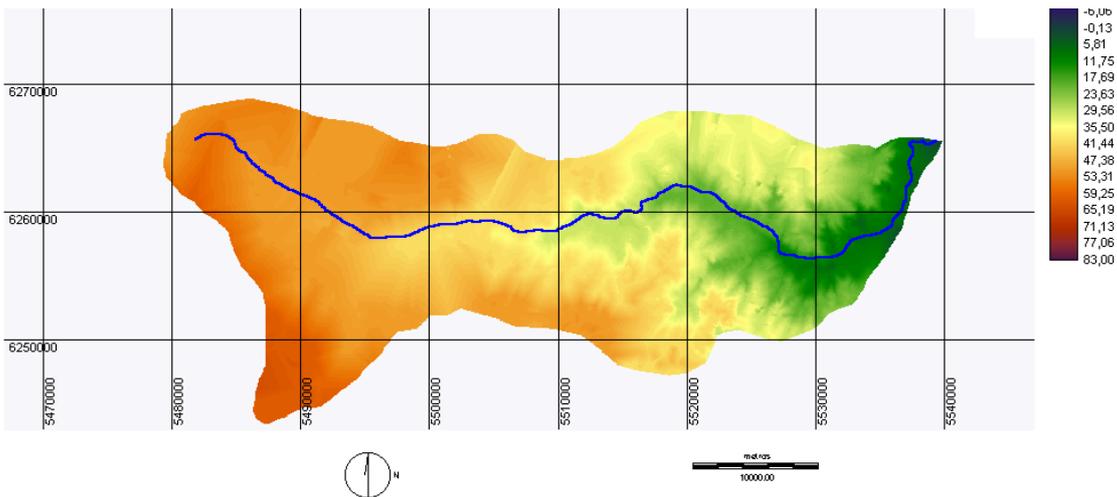


Figura A.3. Modelo digital del terreno (M.D.T.) en la cuenca.

A partir de una base de datos analógica generada por EASNE (1972) se realizó un estudio comparativo de la divisoria de aguas subterránea se constató que ambas divisorias (de aguas superficial y subterránea) presentan un elevado grado de coincidencia, siendo posible que las pequeñas variaciones se deban en parte a la distinta precisión con que se ha trabajado en los relevamientos (Gaspari, 2007) (Figura A.4). Esta variación es característica en los sistemas hidrológicos no típicos (SHNT).

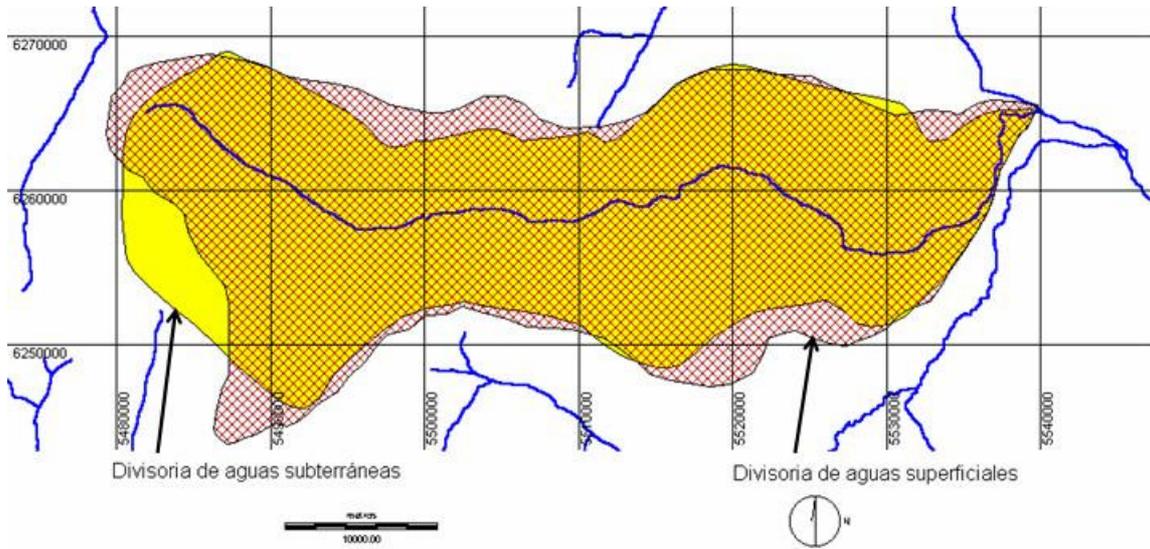


Figura A.4. Divisorias de aguas superficial y subterránea de la cuenca.

A partir de este análisis cartográfico y definiendo la integración de la dinámica hídrica superficial y subterránea de la cuenca del Arroyo Del Tala, se establece que el régimen no es permanente, con posibilidades de recarga; no existe afluencia subterránea desde cuencas vecinas; el balance hidrológico y los registros freaticos han mostrado que la recarga natural y la descarga se compensan; por todo ello, es probable incrementar las ganancias con un buen manejo agrohidrológico de la cuenca (Gaspari, 2007).

El análisis de la morfometría de la cuenca estableció que el desnivel transversal es de 20 m en la cabecera y 36 m en la desembocadura de la cuenca. El perímetro es de 158,39 km. El ancho promedio alcanzó los 19 km, con una densidad de drenaje de 20 km km⁻¹. La pendiente media cauce es de 0,08%, con un factor de forma de 0,24 y Coeficiente de compacidad de Gravelius Kc: 0,49 (definiendo una forma oblonga).

Los suelos según las unidades cartográficas (UC) de INTA (1995) se definen con los dominios edáficos que se muestran en la Figura A.5.

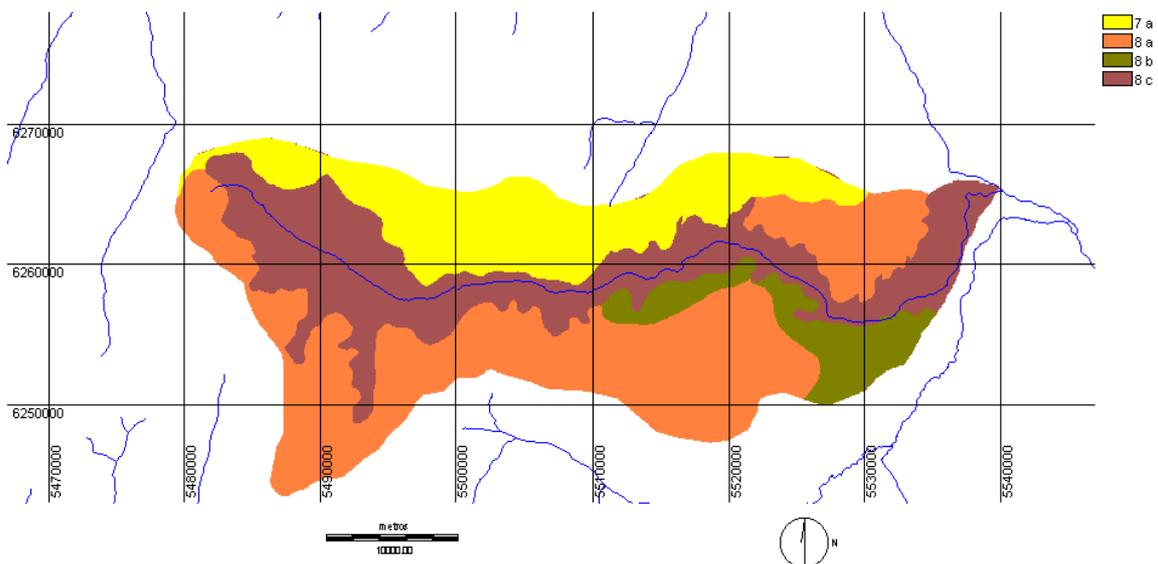


Figura A.5. Distribución areal de los dominios edáficos en la cuenca.

Se identificaron las unidades cartográficas por medio de los dominios edáficos presentes en la cuenca del Arroyo del Tala, siendo los mismos 7 a, 8 a, 8 b, cuya composición edáfica es Argiudoles vérticos, Argiudoles típicos fase inclinada, Argiudoles típicos, respectivamente y el 8c, por el complejo compuesto por Natracuoles típicos, Natracualfes típicos y Argiudoles ácuicos. Las características de cada UC se presentan en la tabla A.1.

Tabla A.1. Descripción de las diferentes unidades cartográficas (UC)

UC	Posición de los suelos sobre el terreno	Paisajes	Clase de Capacidad de Uso (CU)	Limitantes	IP	Aptitud	Productividad
7a	Lomas	Lomas planas extendidas	II w	Permeabilidad lenta	80	Agrícola	Muy buena
8a	Lomas	Pampa ondulada con pendientes de hasta 3%	I	---	95	Agrícola	Muy buena
8b	Pendientes	Planos bajos extendidos	II e	Susceptibilidad a la erosión hídrica y con erosión hídrica actual	72	Agrícola	Muy buena
8c	Planos bajos		VI ws	Sodicidad	24	Ganadera	Regular
	Vías de escurrimiento		VII ws	Sodicidad			
	Sectores deprimidos		II ws	Drenaje			

Además, se presenta la forma del paisaje, la capacidad de uso (CU), las limitaciones en profundidad del suelo, el índice de productividad (IP), la aptitud y la productividad de cada UC, de INTA (1995).

A partir del procesamiento digital de la información de suelos, se obtuvo el Grupo Hidrológico en la cuenca, que se corresponde a un valor único correspondiente al B, debido a que presenta suelos de moderada permeabilidad (en estado de saturación), comprendiendo textura franco arenosa de mediana profundidad.

La caracterización de los usos del suelo se estableció por el análisis e interpretación de imágenes satelitales Landsat 7 ETM (226/086) de dos épocas del año diferenciales: otoño-invierno (a) y primavera-verano (b) (Figura A.6) que permitió realizar la interpretación del paisaje y definir la zonificación de la vegetación y uso del suelo actual (Figura A.7).

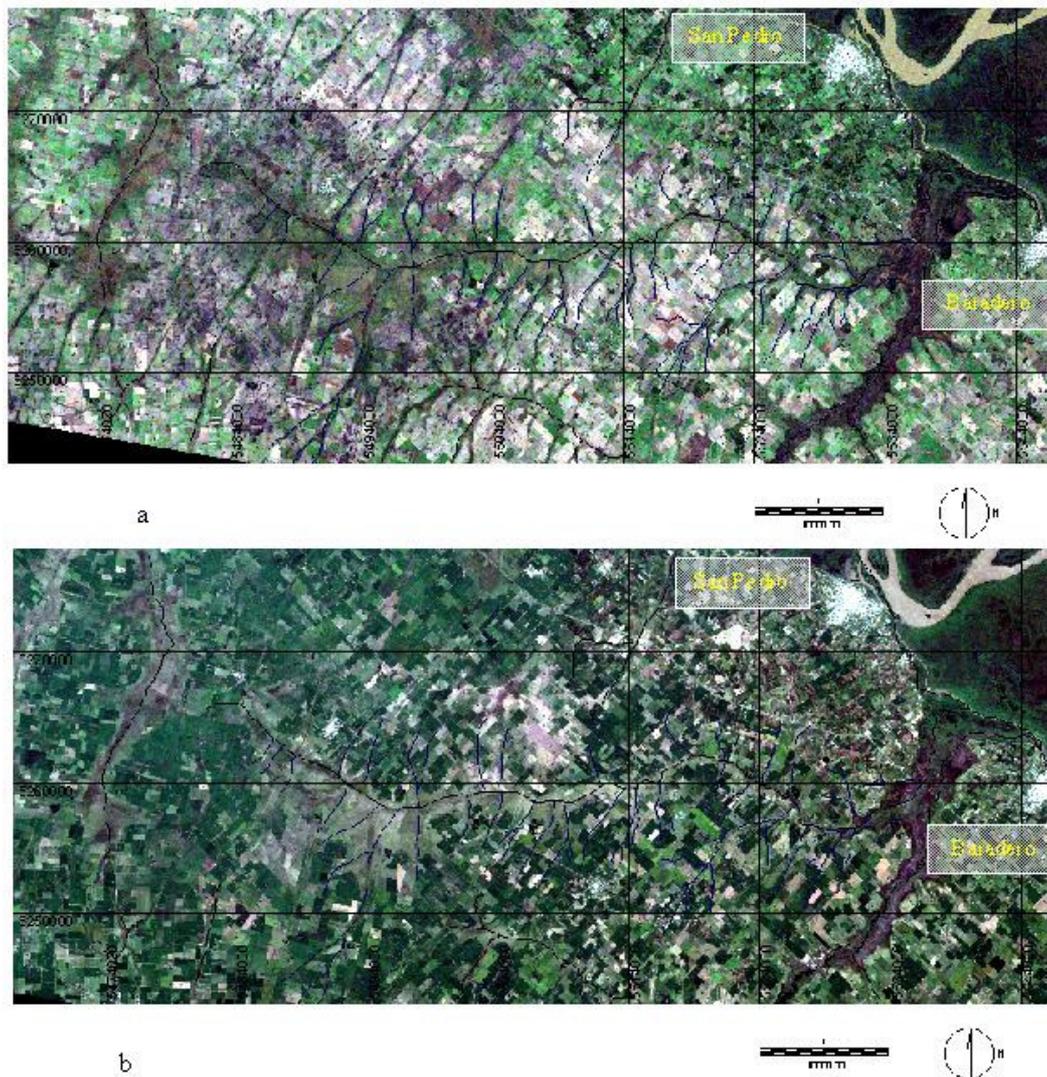


Figura A.6: Imágenes satelitales Landsat 7 ETM (226/086) de dos épocas del año diferenciales: (a) otoño-invierno y (b) primavera-verano.

La Figura A.7 representa el uso del suelo actual caracterizado en:

- Pastizal-herbáceo: Caracterizado por vegetación de baja altura y una composición florística abundante con gran cobertura del suelo, conservando la humedad del mismo, favoreciendo la prevención de la acción erosiva del agua;
- Actividad agrícola – ganadera: Área implantada por especies de interés agrícola y de uso forrajero, con ocupación de la tierra temporal;
- Arbustiva – frutícola: Sitios donde predominan las especies vegetales de mayor porte (> 1 metro de altura) con fines proteccionistas - conservacionistas (arbustiva) y / o productivos (frutícola);
- Zona de derrame: Superficie donde la vegetación es adecuada para sobrevivir con excedentes hídricos temporales.

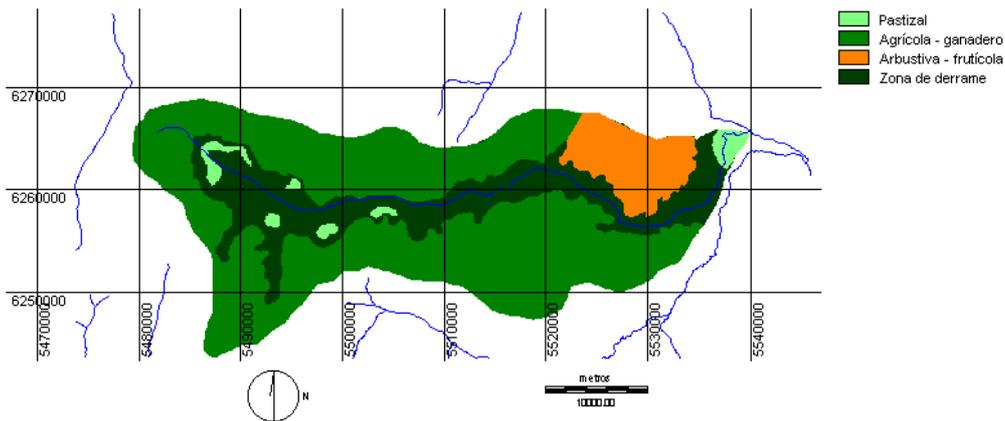


Figura A.7. Vegetación y uso del suelo actual.

A partir de la caracterización de suelos y usos del suelo se aplicó la metodología de NC (número de curva) para la cuantificación de la escorrentía superficial. La zonificación de las condiciones para la infiltración se generó por procesamiento de tabulación cruzada de los mapas de vegetación y uso de suelo con el grupo hidrológico, este último obtenido a partir de los suelos y según la metodología planteada en la figura 7.1. con el modelo cartográfico de simulación espacial y zonificación del NC con SIG. Su interpretación se basó en la clasificación del S.C.S. (López Cadenas del Llano, 1998) a partir del cual se establecieron los diferentes valores de NC (Tabla A.2).

Tabla A.2. Combinatorias de números de curva en la cuenca del Arroyo del Tala.

Número de Curva (NC)			
Vegetación y uso del suelo para Grupo hidrológico B			
Pastizal	Agrícola - ganadero	Arbustiva - frutícola	Zona de derrames
68	74	85	90

La representación cartográfica de la zonificación del NC se presenta en la Figura A.8..

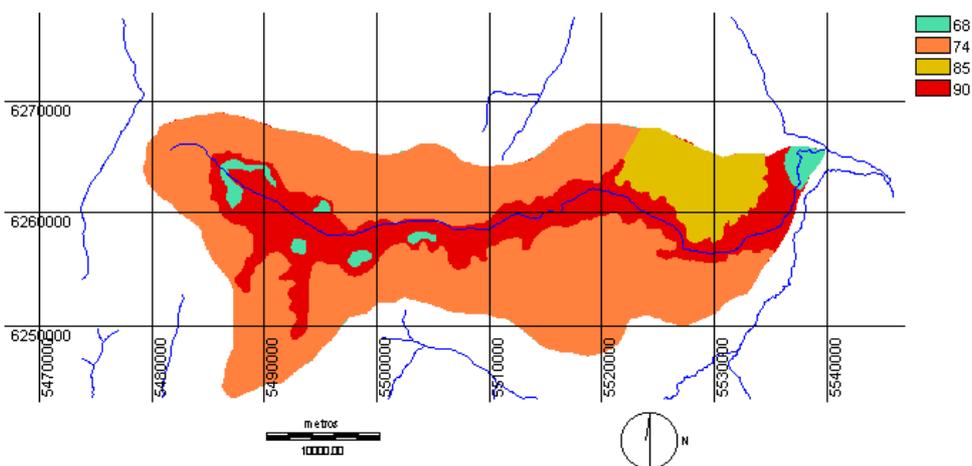


Figura A.8. Mapa de complejos hidrológicos suelo-vegetación (NC) de la cuenca del Arroyo del Tala. Fuente: Gaspari (2007).

La infiltración y la disponibilidad de agua en el suelo están asociadas a situaciones particulares y cobertura del mismo. Al disminuir el NC habría un potencial aumento de la productividad del suelo tendiente al desarrollo de una actividad sustentable.

Los mapas obtenidos por el modelo cartográfico de NC fueron la base para determinar la emisión de sedimentos provenientes de los procesos de erosión laminar, por medio del cálculo de cada uno de los parámetros de la USLE. A continuación se presenta la secuencia de análisis de la determinación de la pérdida de suelos y su correspondiente modelo cartográfico.

La erosividad de la lluvia (R) se estableció a partir de la rectificación y digitalización de las isoerodentas elaboradas por Rojas y Conde (1985) con el SIG. Se procedió a realizar una interpolación espacial de puntos por el método de Thiessen, de datos climáticos de las estaciones meteorológicas de Pergamino, Junín y Gualeguaychú (Figura A.9) (Gaspari, 2007).

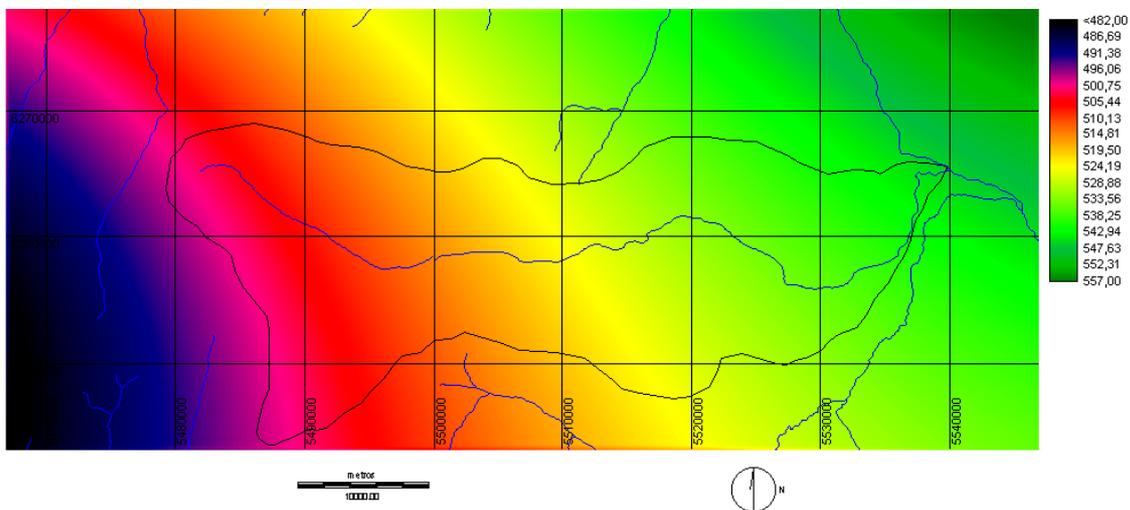


Figura A.9. Zonificación de las isoerodentas anuales en la cuenca del Arroyo del Tala ($\text{J cm} \cdot \text{m}^2 \text{hs}^{-1}$).

El procesamiento matemático digital para determinar el factor K se realizó con SIG. Este procesamiento permitió diferenciar tres valores de K, siendo los mismos: UC 7 a un valor de 0,46; para UC 8c un valor de 0,43 y para la UC 8 a y b un valor de $0,51 \text{ Mg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{J}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ (Gaspari, 2007), cuya zonificación depende de la figura A.8.

La zonificación del factor topográfico LS (Figura A.10) se estableció por la implementación de la metodología de López Cadenas del Llano (1998) a partir de los datos cartográficos de la topografía de la cuenca del Arroyo del Tala (Figura A.2) y del M.D.T. (Figura A.3)(Gaspari, 2007).

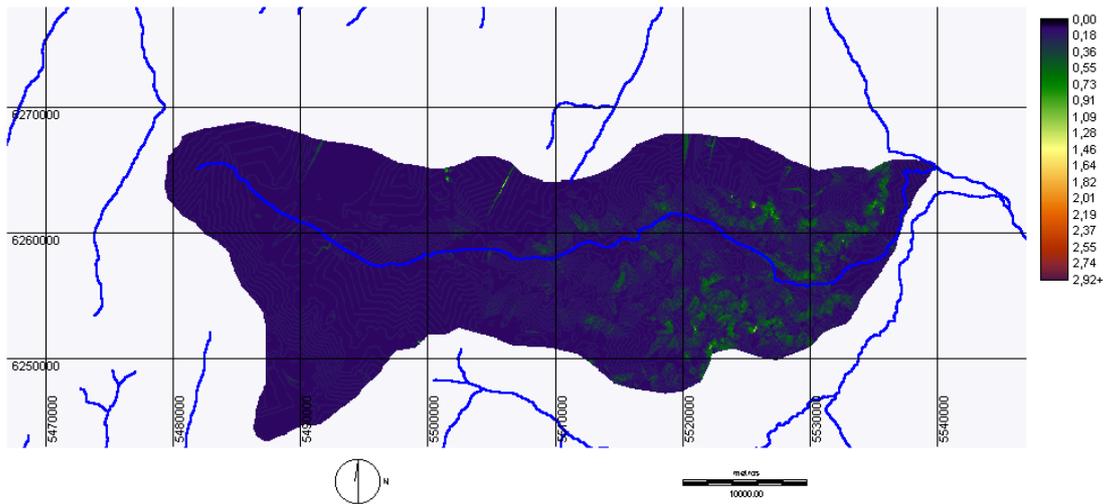


Figura A.10. Zonificación de LS en la cuenca del Arroyo del Tala

La determinación del factor C y su zonificación por medio del SIG se estableció con el apoyo de la metodología aportada por Mintegui Aguirre y López Unzú (1990) y Gaspari y Bruno (2002). Se realizó una zonificación del factor C a partir de la cartografía generada para la zonificación de la vegetación y uso del suelo, presentada en la figura A.7, siendo el C para la zona de pastizal - herbáceo de 0,011; para uso agrícola - ganadero de 0,33; para arbustivo – frutícola de 0,036 y para la zona de derrame un C de 0,075.

El factor P, de control de la erosión mediante prácticas de cultivo en la cuenca del Arroyo del Tala, se ha unificado a 1 (uno) en toda su superficie, debido a que en la cuenca y para la escala en estudio, el manejo y prácticas de conservación para suelos y pendientes específicas, es insignificante a nulo (Gaspari, 2007).

La metodología aplicada para la zonificación de la pérdida de suelo USLE en la cuenca del Arroyo del Tala, se estableció por medio del producto de cartografía temática digital de cada uno de los factores que la integran, generando el mapa final de la figura A.11.

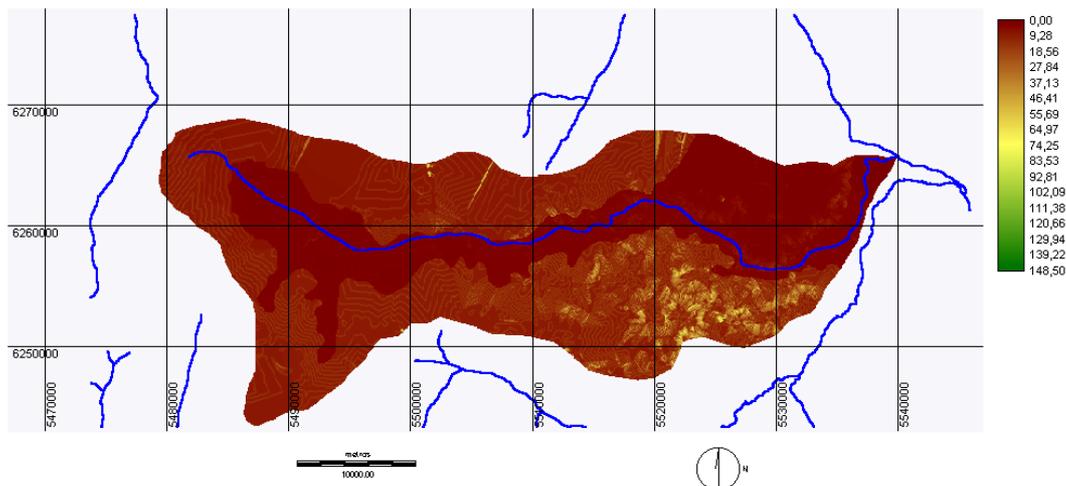


Figura A.11. Zonificación de las pérdidas de suelo por la USLE ($\text{Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) en la cuenca del Arroyo del Tala.

A partir de de la figura A.11 se observa que las áreas afectadas por el grado de erosión hídrica leve (menor a $10 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, (38% de la cuenca)), es decir tierras tolerables para uso agrícola-ganadero y consideradas como áreas de uso intensivo, y que actualmente se desarrollan actividades frutícolas, presentan una leve predisposición a disminuir considerablemente si no se incorpora una leve vigilancia sobre las prácticas de cultivo. Es posible que sin la ejecución de tareas de ordenación estas áreas pasaran en un mediano plazo de tiempo a un grado de erosión hídrica más elevado, pudiendo ser este de categoría moderada a alta, según sus condiciones topográficas.

Con respecto a las zonas, que corresponden a la segunda clase de grados de erosión hídrica moderada ($10\text{-}50 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$), es notable que el aumento de superficie potencialmente erosiva es significativo, ocupando actualmente 53%.

Las áreas en las que se recomienda uso restringido, son las señaladas como con valores superiores a $50 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, donde la pérdida de suelo es considerada alta, ocupando 9% de la cuenca del Tala.

El mapa de USLE de la cuenca del Arroyo del Tala expresa la interrelación entre variables intrínsecas (tipo de suelo, las características fisiográficas, el clima, el tipo de vegetación, la cobertura y uso del suelo), que generan erosión hídrica superficial, siendo las actividades productivas en la cuenca el factor de mayor impacto (particularmente la ganadería extensiva y agricultura convencional) en áreas donde el escurrimiento es representado por $\text{NC} > 80$.

Tal como expresan Gaspari y Bruno (2002), la erosión hídrica presenta una naturaleza cíclica, expresándose en un conjunto de factores tanto internos (suelos) como externos (clima y topografía), creando un medio favorable para que proceso evolucione de una manera particular, como sucede en la cuenca del Arroyo del Tala. El ordenamiento territorial de la cuenca permitiría que los sistemas productivos, por medio de medidas de carácter biológico y/o estructural de manejo del suelo, tiendan a amortiguar los efectos perjudiciales del agua, mantener en tiempo y espacio los servicios hídrico-ambientales y a disminuir las pérdidas de productividad de los suelos. Además, la adopción de medidas de conservación es importante para mejorar el sistema integralmente y sus servicios ambientales. La aceptación de las medidas a aplicar es una decisión individual del productor donde ingresan una serie de factores como: económicos, psicológicos, institucionales, entre otros. Por ello, la “decisión del productor” juega un rol fundamental para la adopción de dichas medidas y en planificación como en tareas de campo.

Las medidas recomendadas para la región, y que algunos productores han puesto en práctica, son de carácter no estructural como el manejo del ganado e implementación de técnicas conservacionistas de suelo, como control de la pendiente, rotación de cultivos agrícolas, entre otras, y además medidas estructurales para manejar principalmente los excesos y déficit hídricos de los arroyos de la cuenca.

La etapa de implementación de estas medidas, requiere además de la aplicación armónica de las medidas sociales, logradas por medio de la participación de los productores en talleres, encuentros y/o charlas. Ello favorece a la planificación de acciones de futuro y/o actividades

que exijan una inversión que no este directamente vinculada a la producción, pero si al desarrollo sustentable. Por ello, el trato social es sensible a un manejo que permita neutralizar los efectos de la erosión y anegamientos en los campos, y en la mayoría de los casos comparte la idea de regular el escurrimiento y pérdida de suelo mediante el cambio de prácticas de uso del suelo y la construcción de pequeñas obras de retención y/o microembalse, para proveer al mismo tiempo de aguadas y sombra para un mejor manejo ganadero.

Se concluye que es importante y necesaria la participación (individual, cooperativa, local, regional) y la integración de disciplinas en el marco de un programa integral. El manejo y gestión integral de una cuenca se basa en las acciones que se realizan sobre ella con el fin de aprovechar los recursos naturales de manera sostenible, garantizando un crecimiento económico y social.

Bibliografía

- EASNE (1972). "Contribución al estudio geohidrológico del noreste de la provincia de Buenos Aires. CFI". En *Serie Técnica*, 24. Tomos 1 y 2. Buenos Aires.
- Gaspari, F.J. y Bruno, J. (2002). "Relación entre la Erosión Hídrica Superficial y la distribución de Ca, K Y Mg en el suelo". XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn.
- Gaspari, F.J. (2007). "Dinámica de la erosión hídrica superficial en una cuenca de llanura. Estudio de caso del Noreste de la Provincia de Buenos Aires". Tesis doctoral. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Rosario.
- Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) (1957). Cartas topográfica de Pérez Millán (3360-33-2); Viña (3360-33-4); Los Patricios (3360-34-1); San Pedro (3360-34-2); Santa Lucia (3360-34-3) y Ireneo Portela (3360-34-4). Escala 1:50.000.
- INTA (1995). *Atlas de Suelos de la Republica Argentina*. Versión Digital.
- López Cadenas de Llano, F. (1998). *Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid: TRAGSA.
- Mintegui Aguirre, J. y López Unzú, F. (1990). La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Bilbao.
- Rojas, A. y Conde, A. (1985). "Estimación del factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo para el centro-este de la República Argentina". En *Ciencia del Suelo*, Vol. 3-1, 2.

B. CUENCA SERRANA

Evaluación del efecto de la restauración agro-hidrológica sobre el escurrimiento superficial

Alfonso M. Rodríguez Vagaría

El manejo inadecuado de los recursos naturales origina problemas que afectan seriamente la capacidad productiva de los sistemas agropecuarios y finalmente repercuten a mediano y largo plazo en la calidad de vida de los habitantes.

La experiencia de gran cantidad de personas en todo el mundo, que desde hace años ha trabajado en encontrar soluciones a estos inconvenientes, ha demostrado que el enfoque más preciso para comprender y resolver dichas dificultades es tomando como de gestión el “sistema cuenca” (García Nájera, 1962; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

La degradación de las cuencas ha hecho reconocer sus numerosas contribuciones al bienestar humano a través de los servicios del ecosistema y, en consecuencia, se les atribuye más valor. Estos servicios pueden incluir el suministro de agua dulce para diversos usos, la regulación del caudal del agua y de los sedimentos, y mantener el régimen del caudal natural que sustenta ecosistemas completos y formas de vida (Hamilton, 2009).

Históricamente, la región pampeana maneja los excesos hídricos a través de la implementación de obras de saneamiento y/o canalización, éstas comprenden el dragado de canales, ríos y arroyos, la construcción de canales que desvían los cursos de agua, o drenan el agua de áreas anegables, y una red de canales secundarios y prediales construidos por propietarios con el fin de evacuar el agua de terrenos inundables hacia la red de drenaje artificial o natural existente. En relación a este tipo de prácticas, F. Ameghino (1884), escribe “[...] he permanecido frío y pensativo, reflexionando sobre las ventajas y desventajas que reportarían los canales de desagüe y me he confirmado más en mi opinión que si ellos no son el complemento de obras más eficaces y de mayor consideración, reportarán probablemente más perjuicios que beneficios [...]”.

Los recursos que dispone el hombre para paliar la degradación ambiental se pueden llevar a cabo por medio de proyectos de restauración agro-hidrológica en cuencas hidrográficas. El término *agro-hidrológico* se interpreta como un vocablo aglutinador de todas las acciones a realizar, tanto de carácter forestal como las prácticas agrícolas, habituales en las superficies vertientes de la cuenca, así como las medidas en los cauces de evacuación de los flujos de avenida (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990). La restauración agro-hidrológica trata de

englobar, en un plan unificado de acción, la problemática común a suelos, agua y vegetación de las cuencas conduciendo a un auténtico proceso de ordenación.

Los objetivos generales de la ordenación agro-hidrológica de una cuenca hidrográfica y de su posterior restauración hidrológico-forestal se centran en el uso racional de los recursos que dispone, fundamentalmente el suelo y el agua (Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 1994). Las actuaciones pueden sintetizarse en dos líneas, totalmente compatibles y en cierta medida, complementarias. Estas son, la utilización racional de las áreas de cultivo, que cubren las zonas de menores pendientes y suelos más fértiles, y el establecimiento de una cubierta vegetal protectora en el resto del territorio. Esta puede adquirir distintas formas tales como praderas, landas, áreas de matorral o monte bajo y finalmente zonas de bosque, bien sean de repoblación o naturales (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990).

Las prácticas de restauración agro-hidrológica poseen una fuerte vinculación con la conservación y recuperación de suelos. Bajo este ámbito, cualquier proyecto desarrollado en la Provincia de Buenos Aires, se enmarca en la Ley de fomento de la conservación de suelos (Nº9.867/82) del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (1982).

Las características particulares de suelo, vegetación y topografía, ligados al uso del territorio poseen una gran influencia sobre los caudales que circulan por el cauce, ya que determinan que gran parte de la precipitación pluvial se transforme en escorrentía. Como resultado de ello, se producen grandes volúmenes de escorrentía superficial, asociados a bajos tiempos de concentración, que originan caudales pico de gran magnitud (Gaspari y Senisterra, 2006; Gaspari et al, 2007). En el corto plazo, estos excesos generan inundaciones en la parte media y baja de la cuenca. En el largo plazo se produce la disminución del potencial productivo, tanto de la cabecera, por erosión hídrica superficial, como de las partes bajas por desbordes del cauce y depósitos de sedimentos.

Los efectos de la restauración agro-hidrológica a nivel geoespacial, permiten ser evaluados mediante la modelización matemática con la herramienta de procesamiento digital de información geo-referenciada *GeoQ*. La herramienta *GeoQ* se puede utilizar para gestionar y manejar cuencas hidrográficas y proyectos ambientales, sociales e hidrológicos; para estimar descargas y para predecir la respuesta según se asocie a posibles cambios, por ejemplo, medidas de conservación de suelo que induce a modificaciones sobre la topografía, cubierta vegetal, grado de ocupación del terreno y/o desarrollo de una urbanización. (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010).

Caracterización del área

Para el estudio de la implementación y restauración agro-hidrológica se seleccionó la cuenca alta del Arroyo Pillahuincó Grande (25.132 ha), ubicada en el partido de Coronel Pringles, provincia de Buenos Aires (Figura B.1).

El objetivo del estudio de caso fue evaluar el efecto de la restauración agro-hidrológica en el área serrana de la cuenca alta del Arroyo Pillahuincó Grande mediante la aplicación del modelo hidrológico GeoQ y evaluar la potencialidad de dicha herramienta. La metodología se basó en analizar el efecto de la aplicación de medidas de restauración agro-hidrológicas en la cuenca alta del Arroyo Pillahuincó Grande, en la zona serrana de la provincia de Buenos Aires, Argentina, por medio de la cuantificación de la escorrentía superficial.

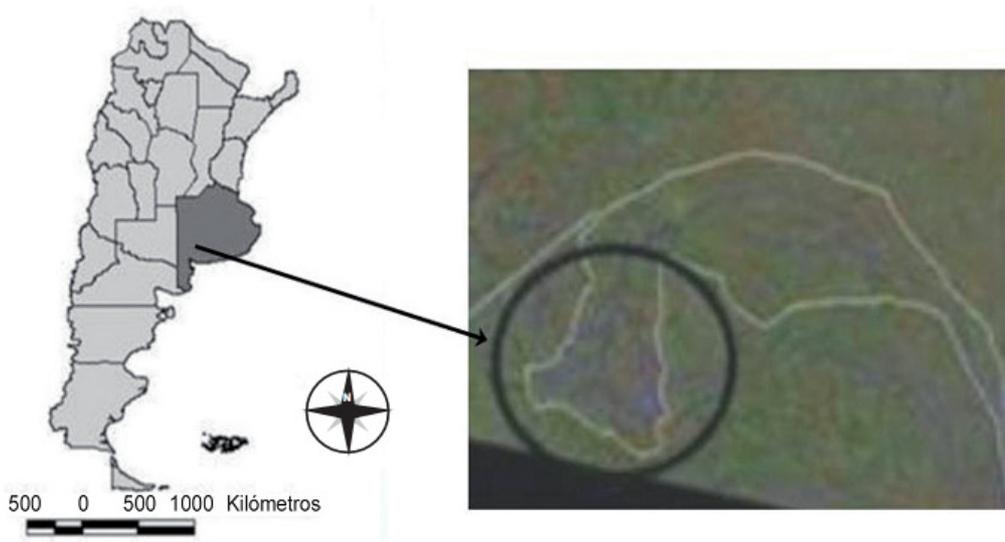


Figura B.1: Mapa de ubicación del área de estudio. Provincia de Buenos Aires

Según Mark y Marek (2009), las pérdidas por infiltración – escorrentía dependen fundamentalmente de las características de suelo y del uso de la tierra representada por la cobertura vegetal. Para ello el método utiliza la combinación de las condiciones de suelo y uso para asignar factores de escorrentía, conocidos como Número de Curva (NC) (Ver Capítulo 3).

La zonificación y comparación de la lámina de escorrentía actual y la simulada por la aplicación de medidas de restauración, se realizó en entorno SIG a través del modelador de procesamientos GeoQ para Idrisi Andes®. GeoQ genera como resultado final un mapa de distribución geoespacial de la lámina de escorrentía, en milímetros, basado en el método de NC (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). El uso del método de número de curva todavía es apropiado para aplicaciones que simulan caudales y procesos de generación modelados con datos de fuente no puntual. El modelado hidrológico espacialmente distribuido tiene un alto potencial en el logro de este objetivo (Garen y Moore, 2007).

En el presente estudio se utilizaron NC adaptados según uso y cobertura vegetal de diferentes autores (SCS, 1964; Chow et al, 1994; López Cadenas de Llano, 1998; Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari et al, 2009; Mark y Marek, 2009; Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). La humedad antecedente del suelo considerada en este trabajo fue la correspondiente a la condición II.

El procesamiento geoespacial para el cálculo de la escorrentía a través de GeoQ, requirió de tres archivos vectoriales de tipo polígono (límite de cuenca hidrográfica, zonificación del

suelo según grupos hidrológicos y la distribución de la vegetación y/o uso del suelo) y un archivo de atributos de valor con el dato de la tormenta a modelar.

La cartografía de datos de vegetación y uso del suelo surgió de un relevamiento in situ con apoyo de imágenes satelitales Landsat 5 TM (Enero de 2007) e imágenes de alta resolución provistas por el servidor Google Earth® y un sistema de posicionamiento global (GPS).

Se realizó la recolección de datos de cobertura vegetal en 25 puntos, identificados y georreferenciados previamente en una imagen satelital del área (Figura B.2). Se identificaron especies forestales, cultivos anuales y verdes con labranza convencional o en curvas de nivel, pajonales y pastizales naturales. Las especies forestales identificadas fueron: Acacia blanca, Eucaliptos, Sauces y Pinos. Dentro de los cultivos y verdes se encontraron: Maíz, Girasol, Soja, Trigo y Avena. El pastizal serrano se representa por los géneros *Stipa*, *Piptochaetium*, *Festuca* y *Briza* (Frangi y Bottino, 1994). El pajonal serrano se compone exclusivamente de Paja colorada (*Paspalum quadrifarium*), ubicado en barrancas bajas muy húmedas, de los bordes de cursos de agua serranos, a veces formando una franja marginal estrecha, paralela al cauce. En otros casos ocupa superficies extensas, sobre suelos en general profundos, húmedos ligados a vertientes en concavidades y pendientes serranas suaves (3 a 11%), y abanicos aluviales.

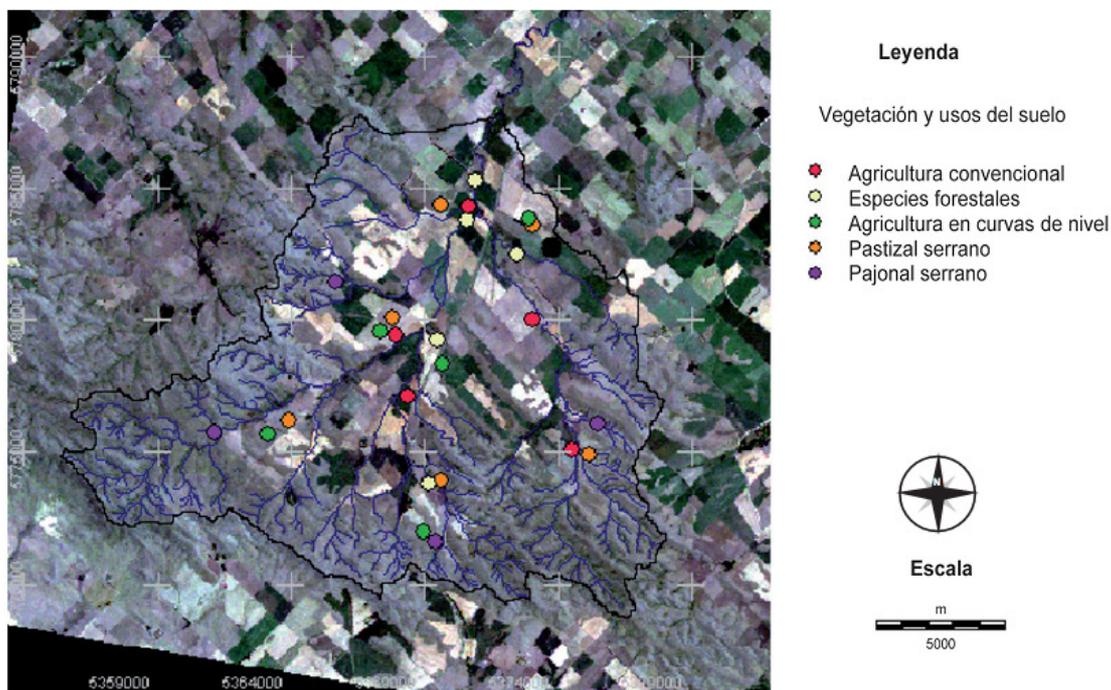


Figura B.2. Distribución de puntos de muestreo de cobertura vegetal en la cuenca alta del Arroyo Pillahuincó Grande.

Los datos relevados fueron procesados y clasificados en categorías en cinco clases de vegetación y usos del suelo, adaptadas a las categorías utilizadas por GeoQ en la generación del NC actual, definidas como:

- Bosques (BB): Incluye áreas con especies forestales, principalmente formando montes de reparo o cortinas rompe viento.
- Cultivos alineados (RB): Conformado por cultivos anuales de grano fino y grueso, o verdeos de verano e invierno con labranza convencional o en siembra directa.
- Cultivos alineados (CB): Representados por cultivos anuales de grano fino y grueso o verdeos de verano e invierno con labranza en curvas de nivel.
- Matorral, mezcla matorral y maleza Cubierta >75% (MC>75%): Incluye las especies del pajonal serrano.
- Prados permanentes (PP): Constituida por las especies del pastizal serrano.

La vegetación y uso del suelo predominante se encuentra constituida por prados permanentes, abarcando el 54% de la cuenca; los Cultivos alineados bajo labranza convencional o siembra directa en buenas condiciones hidrológicas constituyen la segunda categoría de importancia con un 36% de ocupación; los Cultivos alineados bajo labranza conservacionista son una práctica poco difundida, constituyendo el 6% de la superficie total; el Matorral, mezcla matorral y maleza cubierta >75% ocupa el 3% del área total de la cuenca; los Bosques en buenas condiciones representan sólo el 1% de la cobertura presente en la cuenca (Figura B.3).

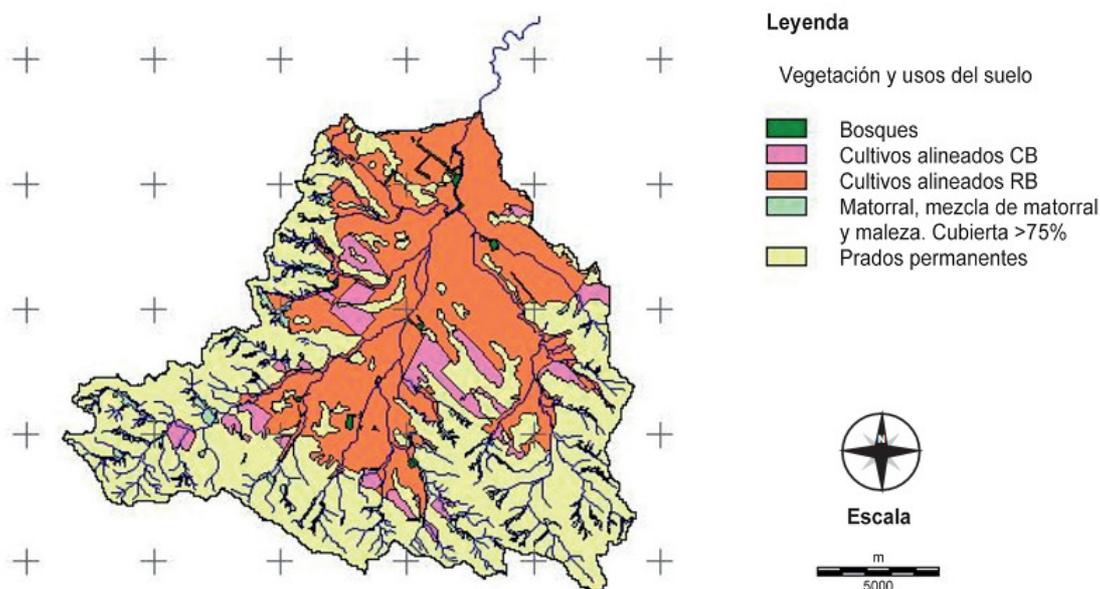


Figura B.3. Mapa de vegetación y usos del suelo.

En la Figura B.4 se presenta la distribución espacial de los 11 complejos de suelos presentes en la cuenca. El complejo de suelos R posee predominancia en la cuenca con un 41% de superficie extendiéndose sobre el paisaje serrano, el 59% restante se encuentra distribuido entre 10 complejos de suelo siendo TA59 el segundo complejo de mayor ocupación con un 12 % desarrollado en lomas con pendientes cortas y medias, con gradientes de 1 a 3%, seguido por TA10 con un 11% ubicado en paisajes de pendientes largas. El complejo AoPoG posee un 9% de ocupación con distribución sobre los márgenes de la red de drenaje

encausados. El complejo PH5 abarca planicies extendidas con tosca representando el 9% de la superficie. Los complejos RG1 y R1 constituyen los suelos desarrollados sobre afloramientos rocosos con vegetación natural y cordones alargados con tosca superficial respectivamente, presentando un 7 y 6% de ocupación. Los complejos con menor extensión territorial están representados por TA12 con un 2% situado en pasajes de lomas con gradiente de 1 a 3% y con tosca en superficie en algunos sectores. Con un 1% de la superficie cada uno se presentan EG2, en vías de avenamiento sin cauce marcado en áreas de lomas, PH2, en afloramientos rocosos con vegetación natural y TAG, en planicies suavemente onduladas. El Gráfico B.1 describe la proporción de ocupación de cada uno.

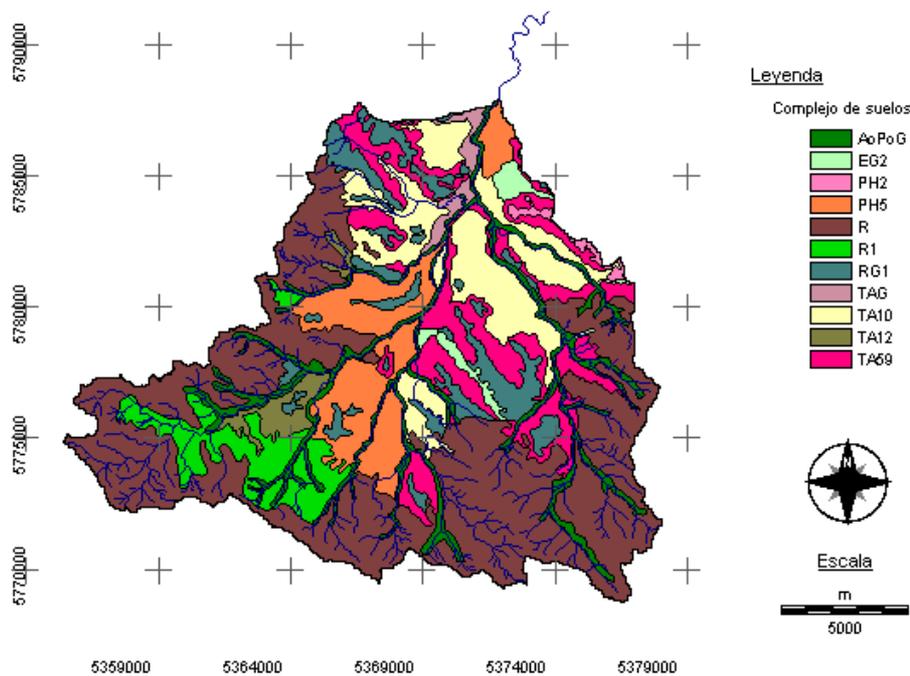


Figura B.4: Mapa de complejos de suelos.

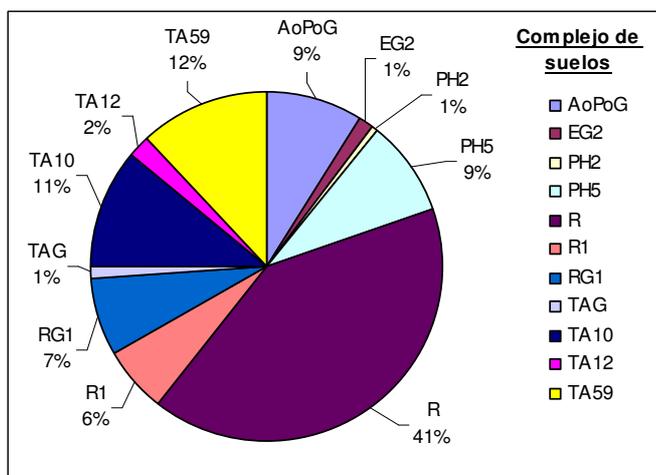


Gráfico B.1: Ocupación (%) de superficie de complejos de suelo en la cuenca.

A partir del mapa de complejos de suelos se definieron los grupos hidrológicos (GH). Se asignó a cada complejo de suelos el GH en función de los parámetros de textura, permeabilidad y porcentaje de composición de cada serie de suelos. La categoría de grupo hidrológico establecida para cada complejo de suelos se visualiza en la Tabla B.1. Se identificaron dos grupos hidrológicos: el Grupo B (suelos en su mayor parte arenosos, poco profundos) y el Grupo C (suelos con abundante cantidad de arcilla y coloides). El grupo B constituye el 36% de la superficie de la cuenca, siendo el 64% restante correspondiente al grupo C (Figura B.5).

Tabla B.1: Grupos hidrológicos correspondientes a cada complejo de suelos.

Complejo suelo	AoPoG	EG2	Ph5	Ph2	TA6	R	R1	RG1	TA10	TA12	TA59
Grupo Hidrológico	B	B	C	C	B	C	C	C	B	B	B

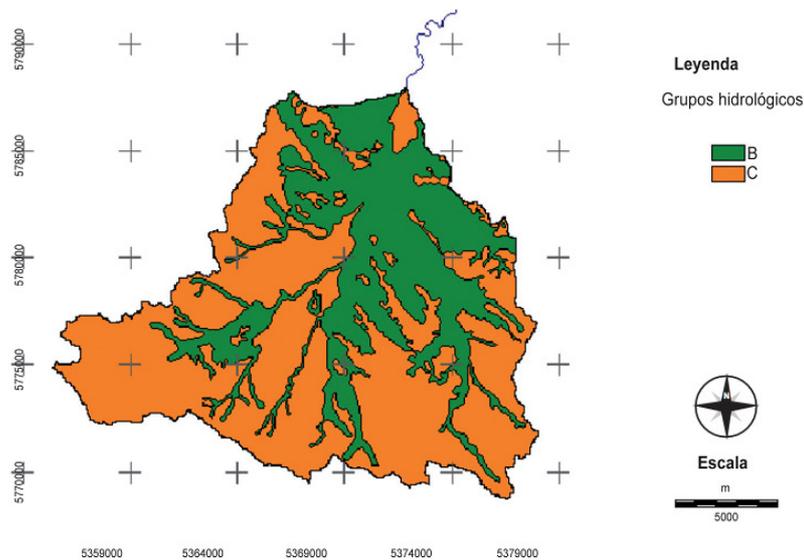


Figura B.5. Mapa de grupos hidrológicos.

A partir de la cartografía de vegetación y uso del suelo combinado con GH, se establecieron los NC en las diferentes zonas de la cuenca. El mapa de número de curva de la cuenca (Figura B.6) fue obtenido automáticamente con el modelo GeoQ, generando 10 valores de NC, con un mínimo de 48 y un máximo de 85. Los valores con mayor grado de ocupación fueron de 71 y 78 con un 51,3 y 27,4% respectivamente, seguidos por 85 con un 8,1%.

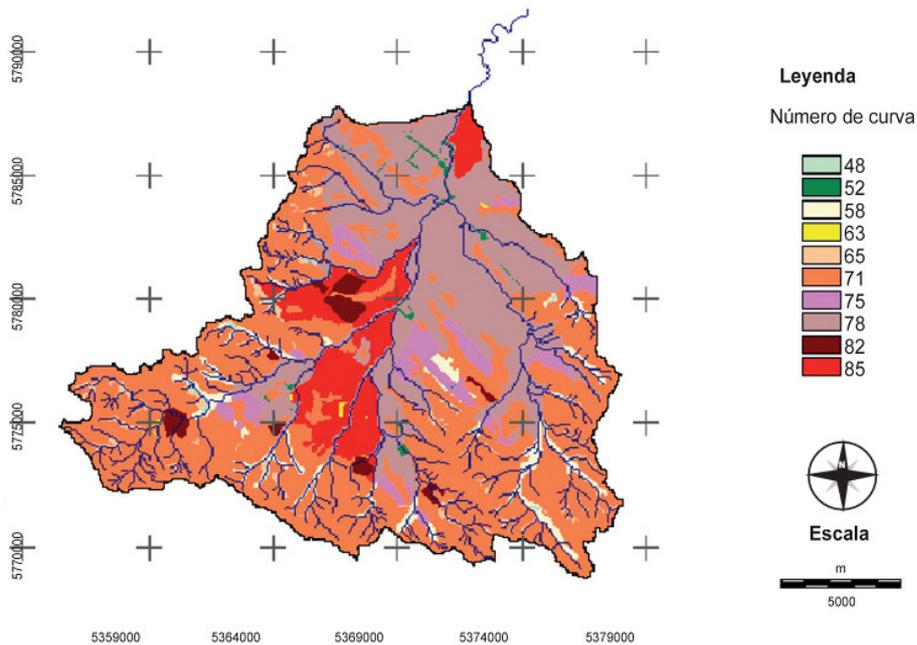


Figura B.6. Mapa de número de curva.

A partir de los valores de probabilidad obtenidos mediante el ajuste a la ecuación de distribución Gumbel y sometidos al Test de Kolmogorov-Smirnov para comparar la función de distribución acumulada de los datos observados, se determinó la lámina de precipitación para diferentes períodos de retorno. La tormenta modal utilizada para la zonificación de la escorrentía está representada por una lámina total de 37,1 mm con un período de retorno de un año obtenida de datos pluviográficos medidos en la Estación Meteorológica Nacional de Coronel Pringles en el período 1911 a 2006.

Los resultados alcanzados con GeoQ, para la tormenta modelada, definieron láminas de escorrentía leves (menores a 10mm) en una superficie con ocupación del 91,9% de la cuenca. Las láminas de escorrentía medias (entre 10 y 20mm) ocuparon una superficie del 8,1% (Figura 8.2.7).

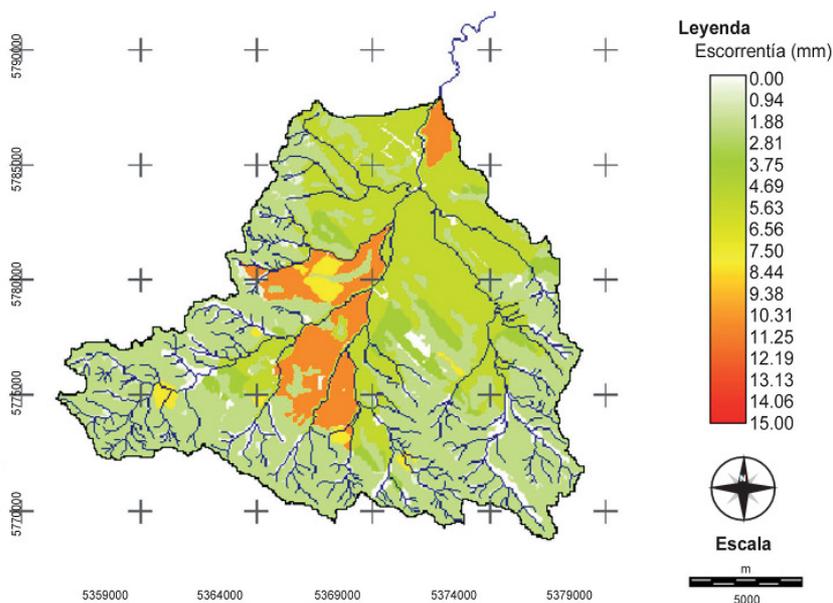


Figura B.7. Zonificación de la lámina de escorrentía (mm).

A partir del análisis de la respuesta hidrológica en la condición ambiental actual con GeoQ, se asignaron medidas de restauración agro-hidrológicas, coherentes con el tipo de producción y tendientes a disminuir la escorrentía potencial superficial (Mapa de vegetación y usos del suelo propuesto). Con esta cartografía se modelizó nuevamente con GeoQ obteniendo el potencial escurrimiento superficial en la cuenca para la condición restaurada.

La propuesta agro-hidrológica obtenida a partir de la asignación de nuevos usos del suelo se basó en una combinación multicriterio geoespacial. Sobre esta base se creó una tabla de triple entrada (Tabla B.2), estableciendo medidas de restauración agro-hidrológicas diferentes para cada combinación. La vegetación y uso del suelo actual se utilizó bajo dos criterios: respetar los límites de producción agrícola, proponiendo métodos de labranza conservacionista sin modificar el tipo de cobertura, en aquellos casos que las pendientes menores del 3%, y determinar áreas con coberturas que favorecen la interceptación, como ser bosques y pajonales serranos a fin de mantenerlas.

Las propuestas intentan conservar la biodiversidad natural del ambiente, preservando el pastizal serrano con la mayor superficie posible (PP) y las zonas con matorral con mezcla de malezas (MC>75%). Sólo se plantea su reemplazo en aquellos casos donde las altas pendientes y los tipos de suelos generan condiciones de escurrimiento excesivamente altas.

Sobre la base de los criterios citados, las medidas de restauración propuestas se describen a continuación:

- En áreas con altas pendientes, donde el ganado bovino tiene acceso limitado, y potenciales de escurrimiento alto, se propone la implantación de especies forestales formando bosques protectores, es decir, masas forestales (BB) con el fin único de favorecer la interceptación de la lluvia y disminuir el escurrimiento superficial.
- En suelos destinados a algún tipo de cultivo, las medidas propuestas fueron dos: en pendientes suaves o moderadas, las labores realizadas deben practicarse siguiendo las curvas de nivel (CB); cuando las pendientes sean mayores, se sugiere el uso de terrazas para realizar el cultivo de dichas áreas (CTB). En áreas con pendiente menores al 3% y dependiendo del GH, se mantiene el cultivo alineado sin implementación de medidas conservacionistas (RB).

Esta combinación representó el potencial de escurrimiento, donde mayores pendientes, suelos de textura más fina o con limitaciones a la infiltración y vegetaciones poco densas poseen escurrimientos potenciales altos (Tabla B.2).

Tabla B.2. Usos propuestos en función de Pendiente, GH, y Vegetación y uso del suelo actual (VUActual).

VUActual \ Rango de pendiente (%)		Rango de pendiente (%)					
		0 - 0,5	0,5 - 3	3 - 5	5 - 15	15 - 30	> 30
GHB	PP	PP					BB
	MC>75%	MC>75%					
	BB	BB					
	CTB				CTB		BB
	RB	RB	CB		CTB	BB	
GHC	PP	PP				BB	
	MC>75%	MC>75%					
	BB	BB					
	CTB				CTB		BB
	RB	RB	CB		CTB	BB	

Referencias: PP: Prados permanentes; MC>75%: Matorral, mezcla matorral y maleza con cubierta >75%; BB: Bosques; CB: Cultivo alineado (en curvas de nivel); RB: Cultivos alineados (sin curvas de nivel); CTB: Cultivos alineados en terraza.

Los colores representados en la tabla B.2, se corresponden con la leyenda de la cartografía en la Figura B.8 que representa el mapa de vegetación y usos del suelo asignados según la Tabla B.1. El nuevo escenario propuesto modificó la ocupación territorial, según:

- Los prados permanentes (PP) siguen constituyendo la categoría de mayor importancia, a pesar de haber disminuido su ocupación, pasando de un 54% para la condición actual a un 45% para la situación propuesta.
- Los Cultivos alineados bajo labranza convencional o siembra directa (RB) en buenas condiciones hidrológicas, constituían el 36% de la cuenca. La nueva situación restringe este uso al 15 % desplazado por Cultivos alineados bajo labranza conservacionista (CB), la cual ocupaba sólo el 6% de la cuenca, adquiriendo un valor de 25% para la condición restaurada.
- Los Bosques (BB) en buenas condiciones representan el 1% de la cobertura presente en la cuenca, la nueva situación propone aumentar su superficie hasta alcanzar un 10% del área total de la cuenca.
- Por otro lado la propuesta plantea la utilización de cultivo en terrazas (CTB), la cual no se encuentra presente en la actualidad, abarcando una superficie relativamente pequeña con un 2% de ocupación.
- El Matorral, mezcla matorral y maleza cubierta >75% (MC >75%) no varió respecto de la situación actual, ocupando el 3% del área total de la cuenca.

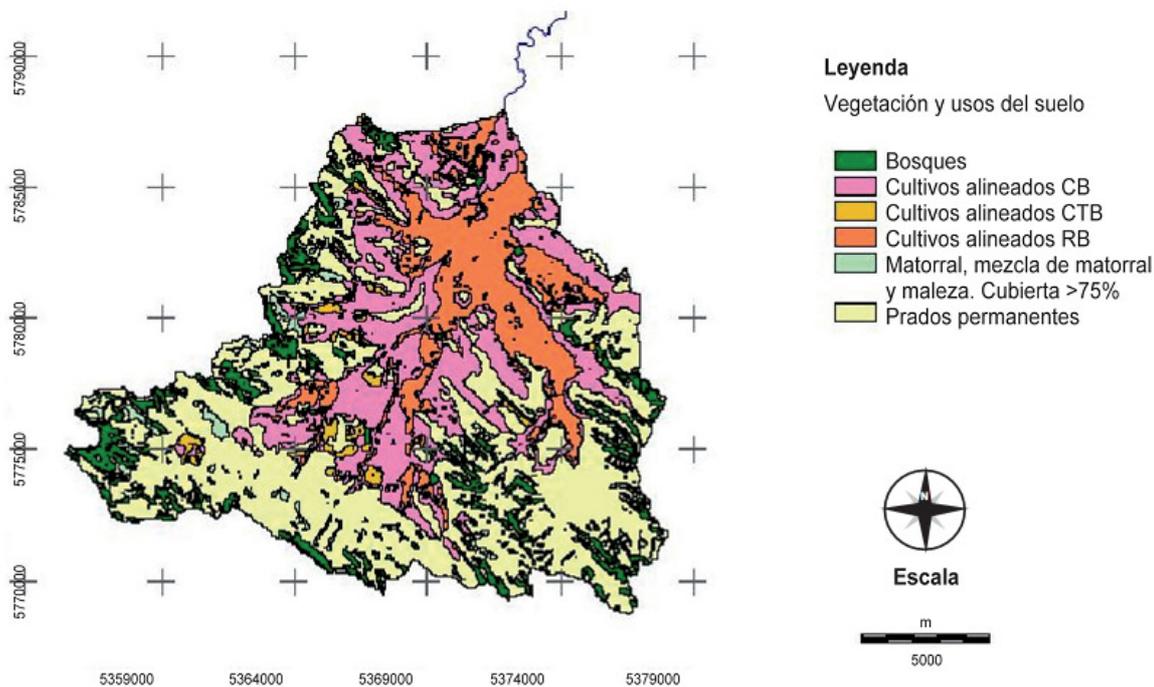


Figura B.8. Mapa de vegetación y usos del suelo propuesto.

Los cambios citados, se presentan en el Gráfico B.2, exponiendo la superficie total cubierta por cada una de las categorías para la condición actual y la condición restaurada propuesta.

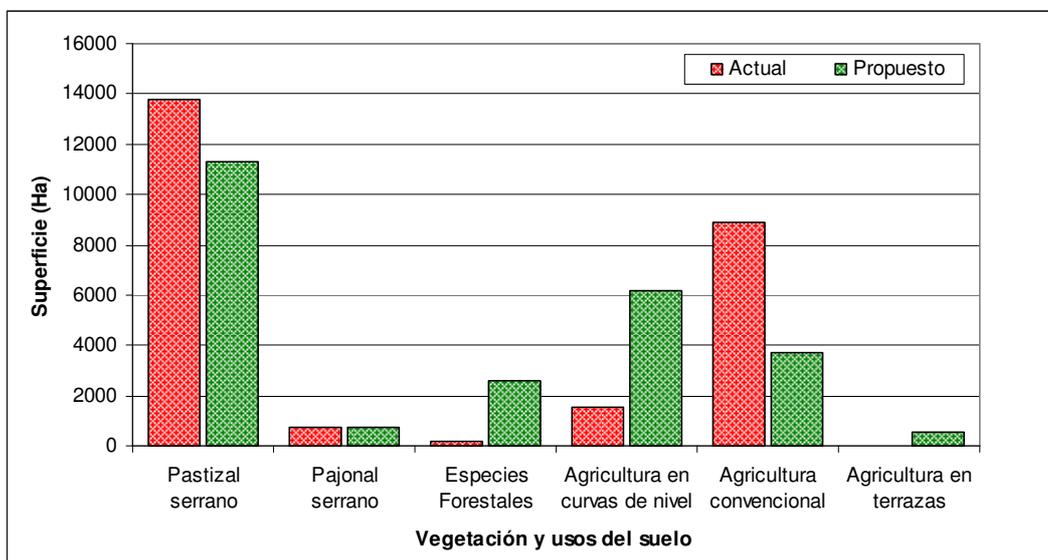
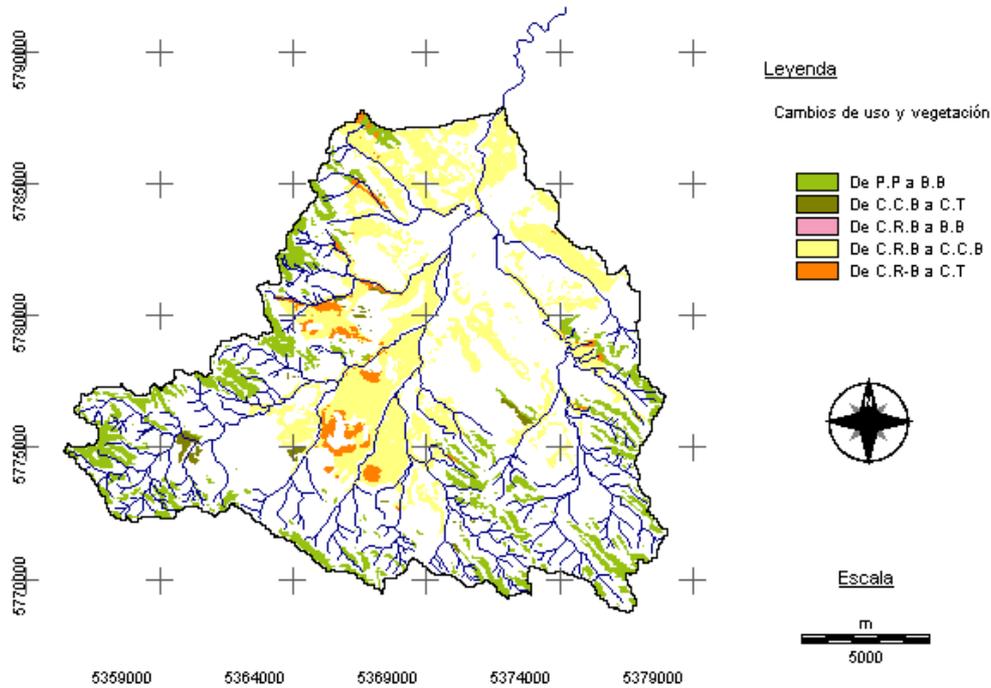


Gráfico B.2. Superficie total cubierta según uso y vegetación del suelo para la condición actual y restaurada.

La Figura B.9 muestra la distribución de los cambios en la vegetación y usos del suelo luego de aplicar las medidas propuestas. Se asignaron nuevos usos a 7812 ha de la cuenca. Se identificó que se cambiaron 2454.5 ha de Pastizal serrano y 0.9 ha provenientes de Agricultura Convencional a Especies forestales. Se propuso el uso de Agricultura en terrazas a 151.6 ha que se encontraban destinadas a Agricultura en curvas de nivel. Se redujo la superficie de la

Agricultura convencional convirtiéndose en Agricultura en curvas de nivel. Se asignaron un total de 411.4 ha destinadas a Agricultura en terrazas con un uso actual de Agricultura convencional.



Los valores netos de ganancia-pérdida de superficie para cada uno de los usos se presentan en el Gráfico B.3, caracterizando la cartografía de la Figura B.9..

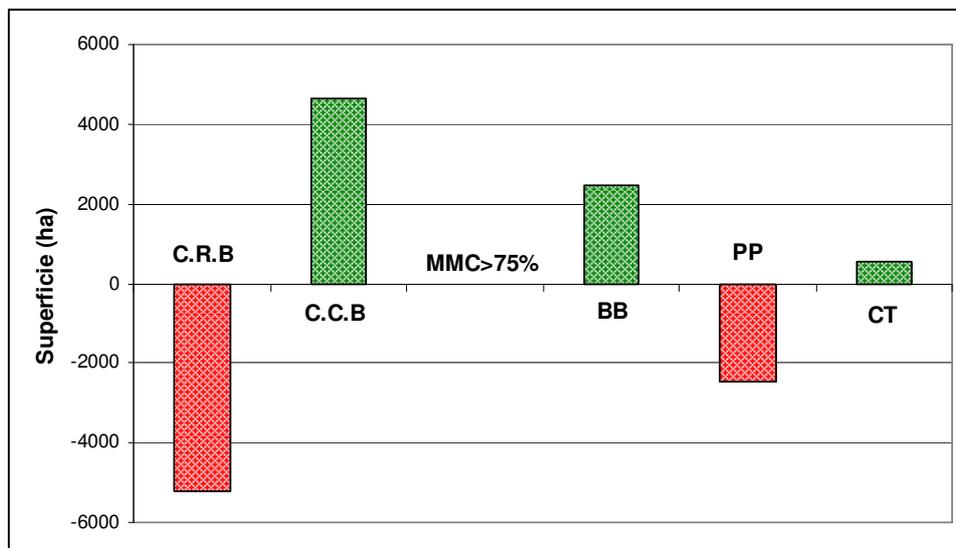


Gráfico B.3. Valores de ganancia-pérdida de superficie por cambio de usos del suelo.

El mapa de número de curva de la cuenca para la condición restaurada (Figura B.10) fue obtenido automáticamente a través de GeoQ. Los NC obtenidos difieren en su distribución espacial y el grado de ocupación territorial con respecto a la condición actual.

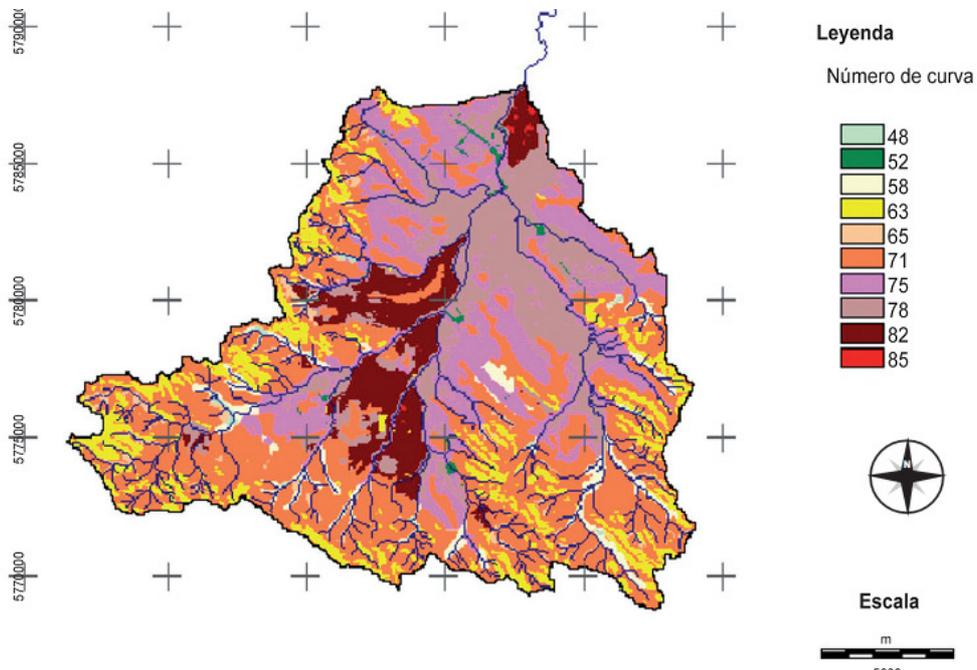


Figura B.10. Mapa de número de curva para la condición restaurada.

Para la tormenta modelada, el GeoQ expresó que el 99,9% de la cuenca genera láminas de escorrentía leves (menor a 10mm) implicando un aumento del 8% de superficie respecto a la condición actual. El rango entre 10 y 20mm representa láminas de escorrentía medias, ocupando la superficie restante de la cuenca un 0,1% (Figura B.11).

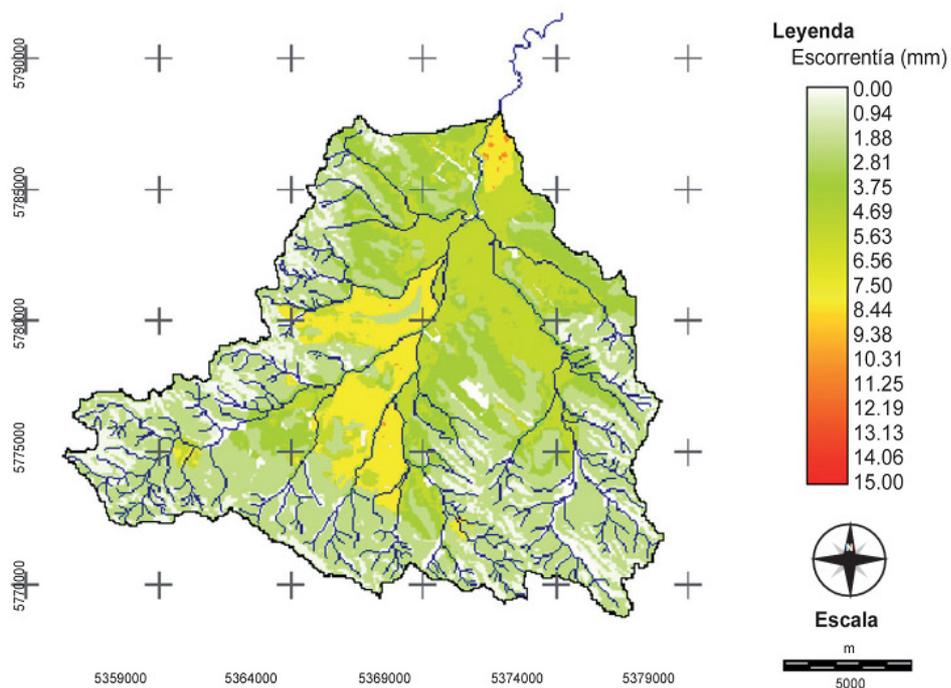


Figura B.11. Zonificación de la lámina de escorrentía condición restaurada.

La comparación de la zonificación del escurrimiento se realizó a través de la obtención de un mapa que representa las diferencias porcentuales entre lámina escurrida en la condición actual, y la condición propuesta para la tormenta seleccionada. Para una tormenta con un tiempo de retorno de 1 año, la distribución espacial de las diferencias porcentuales se muestra en la Figura B.12, las cuales se describen a continuación para cada cambio de uso del suelo, a través de una escala cuantitativa de colores, indicando con rojo las áreas de mayor variación porcentual y en color blanco las áreas sin cambios.

- Los Bosques protectores provenientes de Pastizal serrano tuvieron la mayor diferencia porcentual, reduciendo su lámina un 85,1%.
- Se redujo un 49,5% la lámina escurrida debido al cambio de cultivos bajo labranza convencional a labranza en terrazas.
- El cambio de cultivo en curvas de nivel a labranza en terrazas redujo un 33,4% la lámina de escorrentía.
- La labranza en curvas de nivel provenientes de labranza convencional obtuvo un 24,1% de diferencia.

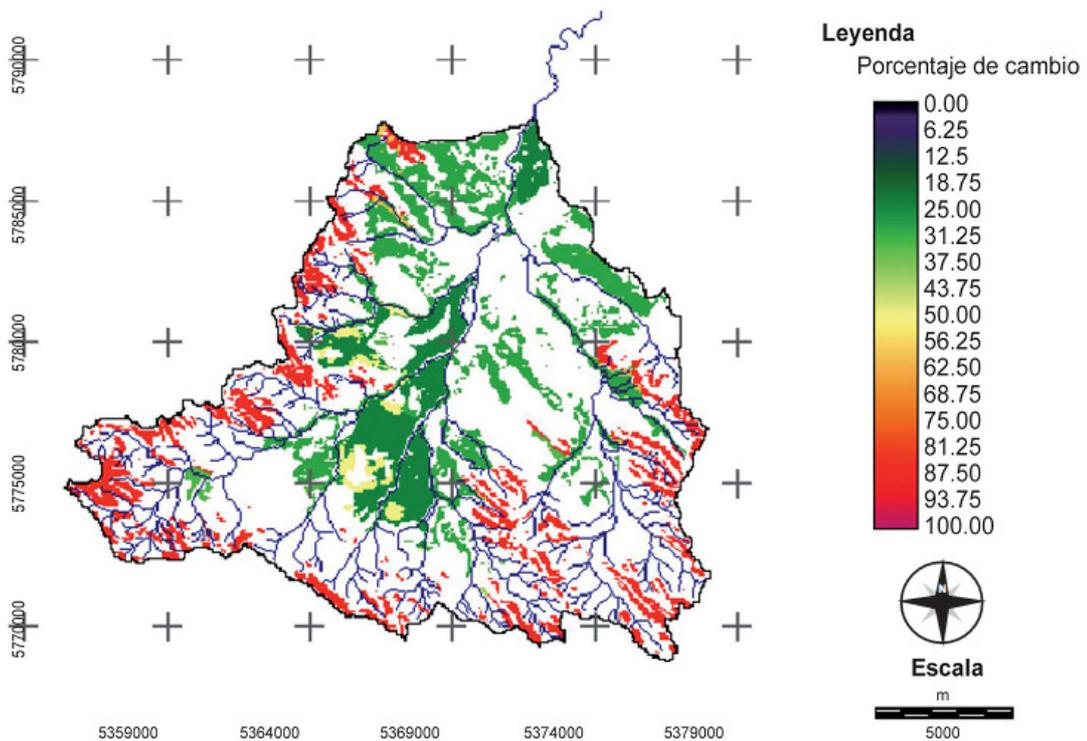


Figura B.12. Zonificación de diferencias porcentuales de lámina de escorrentía.

Los valores de diferencias porcentuales de lámina escurrida obtenidos por el cambio de uso del suelo para la tormenta se observa en el Gráfico B.4.

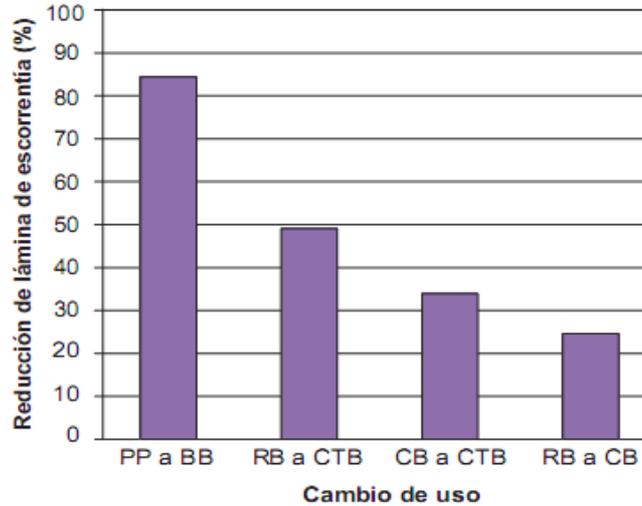


Gráfico B.4. Lámina escurrida según el uso del suelo propuesto (mm).

Las mayores diferencias se presentan en el cambio de pastizal serrano a bosques protectores. El uso que posee menor diferencia es el cultivo en curvas de nivel, proveniente de cultivo bajo labranza convencional.

La realización del presente trabajo permitió establecer el potencial efecto sobre el escurrimiento superficial de las medidas de restauración agro-hidrológica propuestas, para la cuenca serrana del Arroyo Pillahuincó Grande, valorando que la implantación de especies forestales formando bosques protectores, en áreas con altas pendientes, disminuye el escurrimiento superficial con la consecuente regulación del caudal de avenida y la disminución de las pérdidas de suelo. Por otro lado, se incrementa el valor escénico, generando posibles áreas de recreación con un alto potencial de desarrollo de actividades ligadas al agroturismo.

La utilización de SIG permitió establecer medidas de restauración agro-hidrológica, haciendo una evaluación multicriterio de las condiciones presentes en la cuenca, proponiendo medidas coherentes con el tipo de producción actual que tiendan a disminuir la escurrida superficial.

La capacidad de demostrar tanto las amenazas que sufren los servicios actuales como la eficacia del uso de las tierras de río arriba y las prácticas de gestión es decisiva para infundir confianza en las partes interesadas y mantener su disponibilidad de pagar por los servicios. Éstos no sólo dependen de la integridad de los procesos del ecosistema que sustentan su suministro, sino también de la eficacia de los acuerdos institucionales que garantizan la ejecución de prácticas adecuadas, y del acceso asegurado a los beneficios para los que pagan por recibirlos (Hamilton, 2009).

Bibliografía

- Ameghino, F. (1884). *Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires*. Secretaria de Política Ambiental.
- Chow, V. T., Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: Mc Graw Hill Interamericana S.A.
- Frangi, J y Bottino, O. (1994). *Comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina*.
- García Nájera, J. (1962). *Principios de hidráulica torrencial*. Madrid: Ministerio de Agricultura.
- Garen, D. y Moore, D. (2007). "Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions". En *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. Volume 41, Issue 2.
- Gaspari, F. y Senisterra, G. (2006). "Zonificación del número de la curva (CN) en la Cuenca del Arroyo Pillahuincó Grande. Coronel Pringles". Tercer Congreso de la Ciencia Cartográfica. Buenos Aires.
- Gaspari, F., Senisterra, G. y Marlats, R. (2007). "Relación precipitación–escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo aplicada a una cuenca modal del Sistema Serrano de la Ventana. Argentina". *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Tomo XXXIX*. En línea. Disponible en: <bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1521/gaspariagrarias39-1.pdf>.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez Vagaría, A. y Besteiro, S. (2009). *Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas*. Gaspari, F (Ed.). La Plata.
- Gobierno de la Provincia de Buenos Aires (1982). Decreto Ley 9867/82. Ley de fomento de la conservación de suelos. En línea. Disponible en: <www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-9867.html>.
- Hamilton, L. (2009). Los bosques y el agua. Estudio temático elaborado en el ámbito de la Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. Estudio FAO: Montes 155. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma. En línea. Disponible en: <www.fao.org/docrep/012/i0410s/i0410s00.htm>.
- López Cadenas de Llano, F. (1998). *Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid: TRAGSA.
- Mark, A. y Marek, M. (2009). Hydraulic Design Manual, by Texas Department of Transportation (TxDOT). Published by the Design Division (DES). En línea. Disponible en: <onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/manual_notice.htm>.
- Mintegui Aguirre, J. y López Unzú, J. (1990). *La ordenación agrohidrológica en la planificación*. Ed. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.

- Mintegui Aguirre, J. y Robredo Sánchez, J. (1994). "Caracterización de las cuencas hidrográficas, objeto de restauración hidrológico-forestal, mediante modelos hidrológicos". En *Ingeniería del Agua*, Vol. 1 N°2.
- Rodríguez Vagaría, A. y Gaspari, F. (2010). "GeoQ: herramienta para la determinación del número de curva y escorrentía bajo entorno SIG Idrisi Andes®". *GeoFocus* (Informes y comentarios), N°10. En línea. Disponible en: <http://geofocus.rediris.es/2010/Informe2_2010.pdf>.
- Soil Conservation Service (SCS) (1964). Hydrology. Part 1. Watershed Planning. Section 4. Chapter 10. Estimation of direct runoff from storm rainfall. SCS National Engineering Handbook. Estados Unidos: US Departamente of Agriculture.

C. CUENCA PERISERRANA

Vulnerabilidad ambiental en una cuenca hidrográfica

Gabriela E. Senisterra

La conservación y rehabilitación de tierras constituye una parte esencial del desarrollo agrícola sustentable, pudiéndose abordar el estudio de esta temática de diferentes formas. Una de estas maneras es mediante la determinación de la vulnerabilidad ambiental. En las últimas décadas, se ha entablado una discusión en torno al concepto de vulnerabilidad, considerándose diferentes tipos, como son la natural, ambiental, social y socioambiental (Zanella et al., 2011). La comprensión de la vulnerabilidad ambiental de una determinada zona implica entender con precisión la susceptibilidad o resistencia de un área respecto a los agentes desestabilizadores y debe analizarse teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada comunidad (Castro, 1999).

El análisis de vulnerabilidad puede realizarse en diversos ambientes y bajo diferentes condiciones, ajustando la metodología a la realidad del lugar y a la problemática específica. Teutsch-Barros (2006) al estudiar las diferentes aproximaciones metodológicas para evaluar la vulnerabilidad de la población ante desastres asociados con el cambio climático, encontró que a pesar de la existencia de diferentes formas de procesar la información, los diversos métodos se basan en el uso de indicadores de vulnerabilidad, siendo variable la selección de los mismos según la escala de análisis y las características propias de cada lugar.

En particular, las regiones dedicadas a las actividades agropecuarias se ven amenazadas por su degradación, representando dificultades para la producción de alimentos. La degradación se produce por erosión hídrica superficial, compactación y pérdida de fertilidad (Díaz Rivera et al, 2008). Los cambios de cobertura y usos del suelo están relacionados directamente en la generación de escurrimiento superficial y a su vez, tienen una consecuencia directa sobre la erosión de los suelos aumentando la fragilidad de los sistemas ambientales. En la zona serrana del sudeste de la provincia de Buenos Aires, la erosión hídrica superficial provoca una decreciente producción agropecuaria, consecuencia del actual manejo del suelo, la pérdida del horizonte superficial y de la disponibilidad de agua superficial y subterránea. En las últimas décadas, dada la capacidad productiva de los suelos de esta región, los pastizales pampeanos han sido sustituidos por agroecosistemas y evidencian un importante nivel de degradación y un escaso grado de conservación (Vázquez y Zulaica, 2011).

La combinación de los factores antrópicos y ambientales propios de cada sitio y en conjunción con las características morfométricas de la cuenca hidrográfica a la que pertenece (relieve, red de drenaje y forma), se puede establecer una zonificación de la vulnerabilidad ambiental (Gaspari et al, 2011). Una herramienta útil para el análisis de parámetros de vulnerabilidad es el Sistema de Información Geográfica (SIG), debido a que permite un procesamiento geoespacial con un alto grado de variabilidad. Existen estudios que han abordado la zonificación de la vulnerabilidad utilizando las bondades que ofrecen los SIG y los sensores remotos.

Caracterización del área

En el sistema serrano de Tandilia, provincia de Buenos Aires, Argentina, existe un área apropiada para estudiar la vulnerabilidad de cuencas rurales, la cabecera de la cuenca del arroyo Napaleofú (Figura C.1).

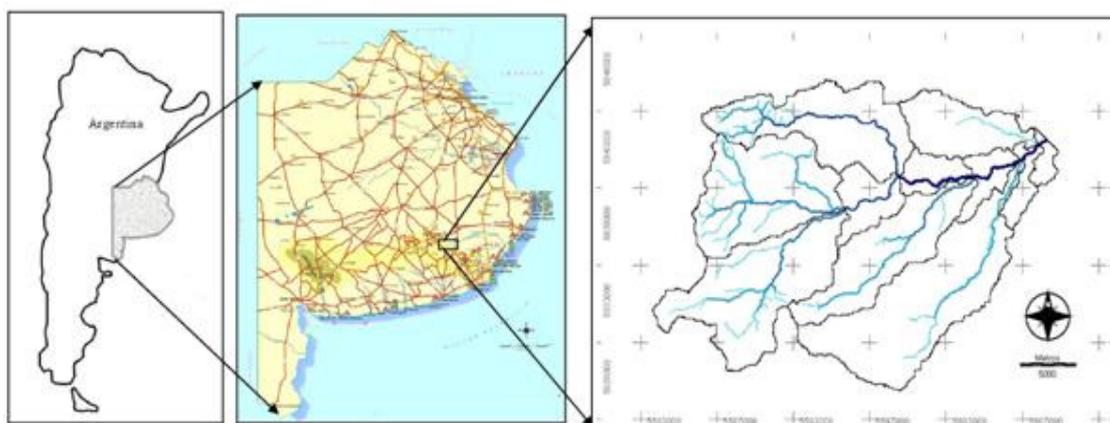


Figura C.1. Ubicación de la cuenca alta del arroyo Napaleofú. Argentina.

El clima de la zona se define como mesotermal subhúmedo-húmedo, con nula o pequeña deficiencia de agua. Para el período 1968-2010, para la localidad de Tandil, la temperatura media anual fue de 13,9 °C, y la precipitación media anual es de 901 mm. La precipitación máxima se presentó entre los meses de octubre a marzo (Barranquero et al, 2012)

Las unidades cartográficas de suelos corresponden a los dominios edáficos 1 y 2, con los grupos predominantes de Argiudoles y Hapludoles, según la carta de Suelos de la República Argentina (escala 1:500.000) descrita por el Atlas de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1989).

La flora pertenece a la región geográfica de la pampa húmeda cuya vegetación es la de la estepa o pseudoestepa de gramíneas propias de los pastizales pampeanos. Es una región con una economía diversificada, con actividades primarias tales como la agricultura y la ganadería, que ejercen supremacía sobre las demás (Venacio, 2007). Actualmente, a partir de la estructura productiva del área y la buena aptitud edáfica, se han generado cambios en el uso del suelo.

La vulnerabilidad ambiental en la cuenca alta del arroyo Napaleofú se estableció a partir de la zonificación cartográfica y procesamiento geoespacial de factores condicionantes y activadores, utilizando el SIG Idrisi Taiga ®. Para ello se confeccionó un modelo cartográfico a nivel de cuenca hidrográfica mediante la combinación aditiva de cinco factores condicionantes, determinando la susceptibilidad, y la posterior integración del factor activador para definir la vulnerabilidad, para diferentes escenarios de uso del suelo.

Los factores condicionantes fueron: la textura del suelo, la posición y pendiente del terreno, la cobertura vegetal y uso del suelo y la densidad de drenaje. El factor activador fue la erosividad de la precipitación. El modelo cartográfico se representa en la Figura C.2.

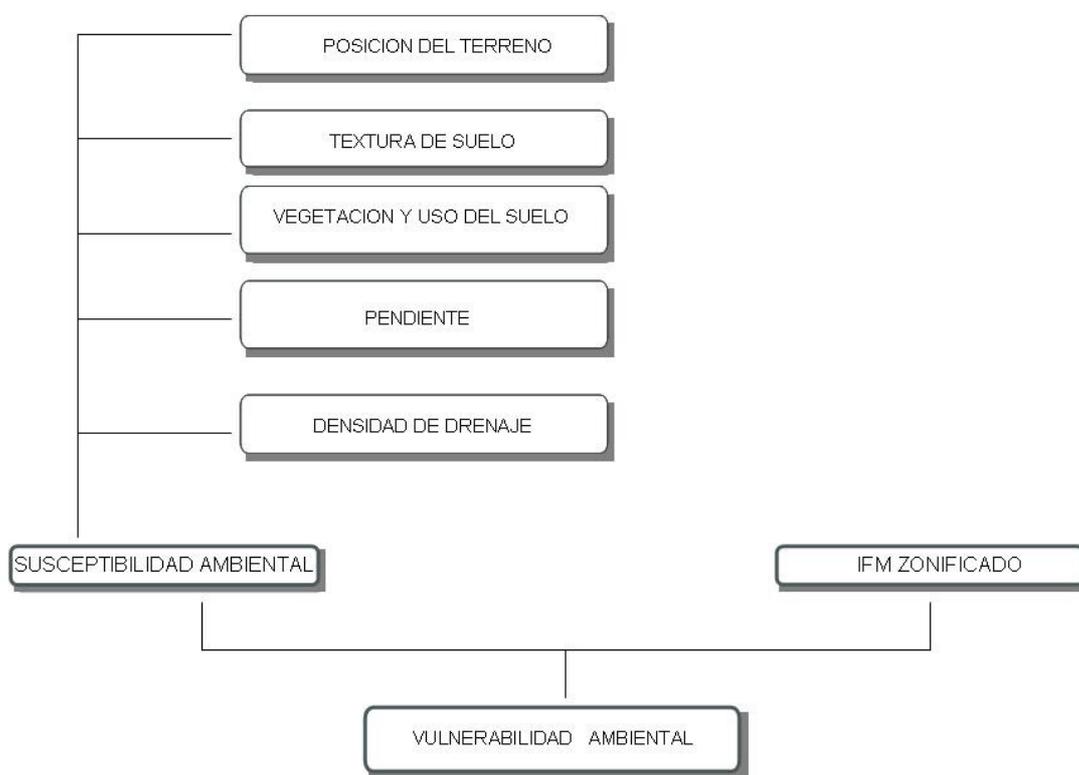


Figura C.2. Secuencia cartográfica para la determinación de vulnerabilidad ambiental.

A continuación se describen los factores condicionantes definidos:

A partir del procesamiento de cartografía topográfica se generó un modelo de elevación digital (MED), para la determinación automática de la **posición en el terreno**, según las clases: alta, loma, media loma y valle. Estas categorías ocuparon en la cuenca la siguiente superficie: alta con 468 ha, loma ocupando 1.207 ha, media loma en 19.932 ha y valle con 12.768 ha.

La zonificación del factor **textura de suelo** se realizó a partir del análisis de estudios antecedentes de cartografía de dominios edáficos, a escala 1:50.000, definiéndose en tres categorías: Franca, Franca Arcillo-limosa y Arcillo-limoso y/o presencia de roca en superficie, ocupando: 25.646 ha, 6.263 ha y 463 ha, respectivamente.

A partir de imágenes satelitales Landsat TM se zonificó el **vegetación y uso del suelo**, para los 3 escenarios temporales, considerando los años 1986, 1996 y 2011, tomando en cuenta los usos: Agricultura (A), Ganadero-agrícola (GA), Ganadería en suelos con roca (G3b), Agrícola- ganadero (AG) y montes de reparo o cortinas forestales (M). La resolución espacial de las imágenes fue de 30 metros x 30 metros por pixel. La superficie ocupada por las los usos del suelo definidos para los años analizados, se presenta en la Tabla C.1.

Tabla C.1. Superficie de ocupación (ha) por usos del suelo.

Año	Usos del suelo				
	A	GA	G3b	AG	M
1986	-	18.275	10.343	5.632	125
1996	-	14.597	2.988	16.507	283
2011	6.522	11.043	2.219	14.226	365

El procesamiento de la inclinación del terreno, utilizando el Modelo de Elevación Digital, permitió determinar la **pendiente**. La misma fue reclasificada en rangos. Los menores a 3 % ocuparon 22.717 ha; el rango de 3 a 12 % se presentó en 10.346 ha, 1.175 ha estuvieron definidas en el rango de 12 a 24 % y loa mayores a 24 % ocuparon 137 ha.

La **densidad de drenaje** originó el factor compacidad de drenaje y fue clasificada en las siguientes clases: menores a 20 con una ocupación de 21.983 ha; la clase entre 20 y 40 estuvo en 9.644 ha; 2.064 ha comprendieron la clase entre 40 y 60; entre 60 y 80 hubo 576 ha y las mayores a 80 ocuparon 108 ha.

A partir de la combinación aditiva de estos cinco factores condicionantes, se estableció la zonificación de la susceptibilidad, la cual se clasificó en cuatro categorías cualitativas: nula, media, moderada y alta, considerando la criticidad sobre el ambiente para los años estudiados (Figura C.3).

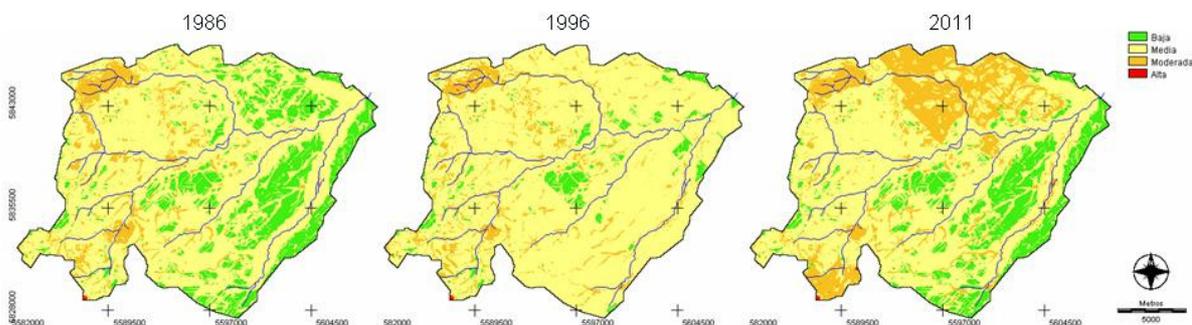


Figura C.3. Susceptibilidad ambiental en la cuenca del arroyo Napaleofú

La superficie de ocupación de estas categorías de susceptibilidad ambiental en la cuenca se observan en la Tabla C.2. En la misma se indica su variación espacio-temporal en los años analizados, la cual se representa mediante una flecha ascendente y descendente, para el aumento o disminución de su ocupación a partir del año 1986.

Tabla C.2. Superficie de ocupación por categorías de susceptibilidad.

Susceptibilidad	Superficie (ha)		
	Año *		
	1986	1996	2011
Baja	6.327	1.530 ↓	5.037 ↓
Media	24.983	29.799 ↑	22.168 ↓
Moderada	3.047	3.010 ↓	7.141 ↑
Alta	18	36 ↑	29 ↑

↑ La flecha indica aumento / disminución de superficie de ocupación en relación al año 1986.

Al integrar la susceptibilidad con el factor activador (**erosividad de la precipitación**), se obtuvo la vulnerabilidad ambiental en la cuenca.

El factor activador influyó levemente en la vulnerabilidad ambiental de la cuenca en el período analizado, justificado por la similitud hallada entre los datos analizados de las estaciones meteorológicas, encuadrándose en un rango de baja erosividad.

La zonificación lograda de la vulnerabilidad para cada año se categorizó en cuatro clases (baja, media, moderada y alta), considerando el grado de agresividad de la conjunción de los factores de susceptibilidad y el factor activador. A su vez se estableció la tendencia de cambio espacio-temporal de la vulnerabilidad ambiental en los escenarios temporales: 1986 - 1996, 1996 - 2011 y 1986 - 2011, con la aplicación del módulo Land Change Modeler (LCM) del SIG Idrisi Taiga®. El LCM es una aplicación diseñada para el análisis y la predicción de cambios, proyectando su tendencia y evaluando sus implicancias (Crespo et al., 2010). La aplicación del LCM permitió el análisis de los cambios acaecidos de vulnerabilidad entre los períodos analizados, que fueron modelizados empíricamente a partir de un modelo matemático desarrollado en función de los cambios observados. Además, permitió el establecimiento de evaluaciones de pérdidas y ganancias, persistencia y transiciones específicas, tanto en forma de gráficos como cartográfica.

El cambio espacio temporal de la vulnerabilidad ambiental para los períodos 1986-1996 y 1996-2011, estableció el balance de ganancias – pérdidas de superficie de ocupación. En la Figura C.4 se visualiza que la categoría de alta vulnerabilidad ocupa menos de 15 has en los escenarios analizados. El balance en 1986-1996 indica pérdidas en las categorías baja y media, aumentando la moderada, indicando una agriculturización que eleva la vulnerabilidad del ambiente. En el período 1996-2011 se manifiesta un aumento de superficie de ocupación en la categoría media, y un intercambio en las clases de pérdidas

entre las categorías baja a moderada. Posiblemente, estas diferencias se puedan atribuir al manejo de las actividades agrícolas.

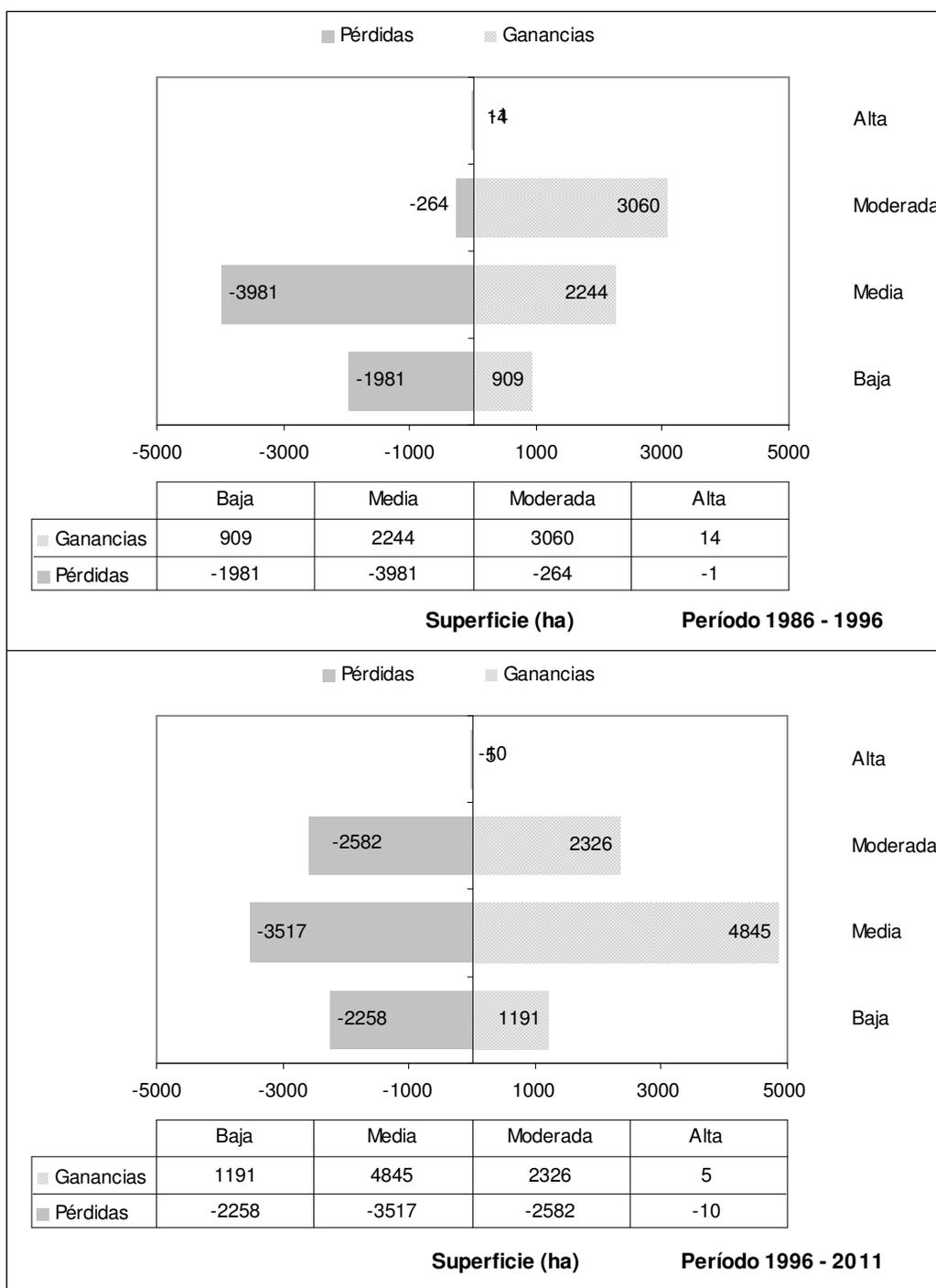


Figura C.4. Pérdidas y ganancias de vulnerabilidad ambiental, expresada en superficie de ocupación, por período de estudio.

La modelización del cambio de la vulnerabilidad en el período 1986-2011, permitió elaborar el mapa de persistencia con el módulo LCM, el cual estableció la persistencia de áreas según las categorías de vulnerabilidad. En la Figura C.5 se expresan zonas donde se mantuvieron las clases de vulnerabilidad en todo el período. Se destacan áreas incoloras donde se representan los posibles cambios de nivel de vulnerabilidad para el período de 25 años. El 19,75 % de la

superficie total de la cuenca ha modificado su categoría de vulnerabilidad ambiental, como se observa en la Figura C.5, representando 6.849 ha

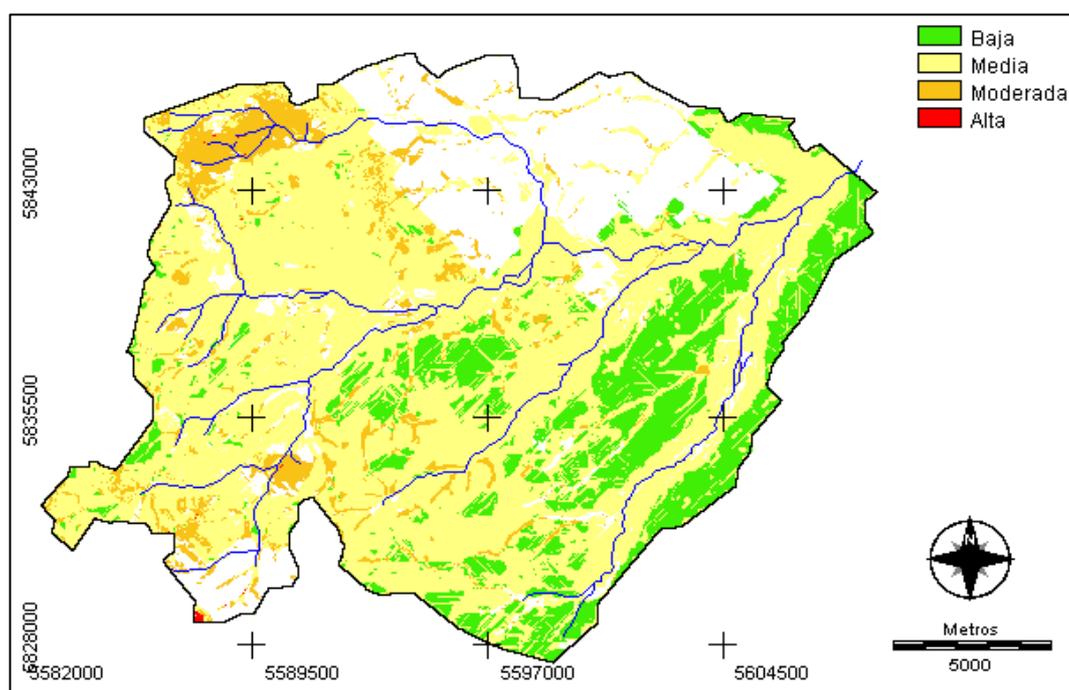


Figura C.5. Mapa de persistencia de vulnerabilidad ambiental para el período 1986 - 2011.

Partiendo de la aplicación del LCM, se observaron los cambios específicos entre categorías, destacándose dos cambios que tienden a incrementar la vulnerabilidad. La transformación de la categoría media a moderada, ocupó 4.765 ha, constituyendo el 65,5% del total de cambios ocurridos entre categorías. En segundo lugar se encuentran las modificaciones de la categoría baja a media, con 1.348 ha que representan el 19,7% de la totalidad de los cambios observados.

La dinámica se invierte positivamente, presentando 667 ha con un cambio de la categoría moderada a media (9,7% del total de cambios ocurridos).

Los cambios de vulnerabilidad de media a baja y de alta a moderada se presentaron en 61,98 ha y el cambio de la categoría media y moderada a alta alcanzó a solo 5 ha.

El aumento en superficie del uso del suelo agrícola detectado en la cuenca alta del arroyo Napaleofú concuerda con lo expresado por López Bidone (2010), que indica que esta transformación se comenzó a manifestar en la región, a partir de la década del 1970, profundizándose a mediados de los años 1990, cuando el sector agropecuario experimentó una profunda transformación debido a la crisis financiera del país, con un intenso proceso caracterizado por una mayor eficiencia en el uso de los factores productivos, acompañado por la adopción de cambios técnicos y por el desarrollo de nuevas formas organizacionales de la producción, a través de la tecnificación y la diversificación de la producción. Además, como menciona Vázquez (2014), para el partido de Tandil, la expansión agrícola fue evidente a partir del año 2010, siendo este proceso no sólo característico de este partido, sino también de la ecorregión de las Pampas.

El cambio de uso del suelo expuesto confirmó, en el análisis espacio temporal de la vulnerabilidad ambiental, que existen áreas donde la agriculturización fue determinante en la modificación y cambio

de categoría, aportando a la fragilidad del ambiente. En las zonas donde este uso del suelo no ha sido predominante, se determinó la persistencia de clase de vulnerabilidad. Asimismo, se coincide con lo expresado por Teutsch-Barros (2006) respecto a que las metodologías de evaluación de vulnerabilidad son herramientas flexibles que pueden y deben ser adaptadas de acuerdo a los requerimientos y posibilidades de cada estudio y región geográfica en particular.

Corroborando lo expresado por Van Westen y Soeters (1999), el uso de un SIG fue una herramienta apropiada para la determinación de la vulnerabilidad geoespacial y temporal, adaptándose a los requerimientos y posibilidades de la cuenca en estudio.

Bereciartua (2003) menciona que la confección de un mapa de vulnerabilidad implica combinar varios mapas temáticos, correspondientes a las variables elegidas para la evaluación. Cada uno de estos mapas representa una característica física, social, cultural, que implica o representa un impacto determinado sobre el territorio. Esta metodología resulta útil cuando los impactos varían espacial y temporalmente.

A partir del estudio espacio temporal del uso del suelo en la cuenca se observó un proceso de expansión agrícola, en detrimento del uso ganadero o mixto. Este proceso estuvo asociado al avance de la frontera agropecuaria principalmente con la introducción de soja, la rotación de cultivos, implementación de medidas de conservación de suelo y el cultivo de papa.

La metodología aplicada proporcionó la posibilidad de zonificar la vulnerabilidad ambiental en una cuenca hidrográfica serrana mediante uso de SIG, evidenciando que el cambio de uso del suelo incide en el cambio de la distribución de la vulnerabilidad ambiental.

La determinación del cambio entre clases de vulnerabilidad ambiental en la cuenca evidenció la necesidad de diseñar un plan de ordenamiento territorial tendiente a la aplicación de prácticas agropecuarias sustentables que permitan la evolución de los cultivos optimizando la interacción de los recursos genéticos, el medio y la gestión que se lleva a cabo en los agroecosistemas asegurando el mantenimiento del recurso para la alimentación y la agricultura.

La zonificación de la vulnerabilidad ambiental de los agroecosistemas permite definir áreas que deben ser conservadas para que el servicio de regulación y suministro de bienes y productos que brindan sean sustentables.

Estas zonas difieren en su exposición y susceptibilidad frente a los principales factores de disturbio (vulnerabilidad), identificadas con valores de utilización de Servicios ambientales similares. La cartografía lograda presenta distinta relevancia en el marco de la planificación del uso de la tierra y constituiría el criterio central para orientar planes de ordenamiento territorial basados sobre la oferta de Servicios de los agroecosistemas.

Bibliografía

Barranquero, R., Varni, M., Ruiz De Galarreta, A. y Banda Noriega, R. (2012). "Aporte de la hidroquímica al modelo conceptual del sistema hídrico subterráneo, Tandil. Argentina". En

- GEOACTA* 37(2): 130-146 (2012) ISSN 1852-7744. Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas.
- Bereciartua, P. (2003). *Vulnerabilidad de Aguas Subterráneas a la Contaminación. Gestión Ambiental de los Recursos Hídricos*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Argentina. En línea. Disponible en: <materias.fi.uba.ar/6911/vulnerabilidad_gw.pdf>.
- Castro, M. (1999). "Cooperación regional para reducir la vulnerabilidad ambiental y promover el desarrollo sostenible en Centroamérica". En Uribe, A., Franklin, H. (Eds.). *Memorias del taller sobre vulnerabilidad ecológica y social*. Estocolmo.
- Crespo, R., Ares, G., Sfeir, A., Wingeyer, A. y Usunof, E. (2010). "Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la región central de la provincia de Buenos Aires". En *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. Universidad Nacional de Cuyo. 42(1).
- Díaz-Rivera, J., Pérez Costa, D. y Rodríguez Álvarez, D. y Febles-González, J. (2008). "Determinación de índices de erosión de suelos aplicando análisis SIG para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar del Río". En *Chapingo*. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 14(1). México.
- Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Delgado, M. I., Senisterra, G. y Denegri, G. (2011). "Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG". En *Multequina* N°20.
- INTA (1989). *Mapa de Suelos de la Provincia de Buenos Aires*.
- López Bidone, E. (2010). "El capital intangible y el proceso de reorganización sectorial como génesis de la competitividad territorial. Tandil como caso de estudio". En *Observatorio de la Economía Latinoamericana* N°125. En línea. Disponible en: <www.eumed.net/coursecon/ecolat/ar/>.
- Teutsch-Barros, C. (2006). "Metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad poblacional a los desastres de la variabilidad y el cambio climático". Tesis de Maestría. Santiago: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas Escuela de Agronomía.
- Van Westen, C. y Soeters, R. (1999). "Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences". En *ITC*.
- Vázquez, P. (2014). "Agriculturization and environmental impacts in a representative area of the ecoregion of the Pampas, Argentina". En *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium*. Ituiutaba: 5 (1).
- Vázquez, P. y Zulaica, L. (2011). "Cambios en el uso de la tierra del partido de Tandil y principales impactos ambientales". En *Párrafos geográficos*. 10 (2).
- Venacio, L. (2007). *Globalización, Desarrollo Local y Sociedad Civil*. Edición electrónica gratuita. En línea. Disponible en: <www.eumed.net/libros/2007a/222/>.
- Zanella, M., Correia Dantas, E. y Sampaio Olímpio, J. (2011). "A vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Fortaleza/Ce. B. Goiano". En *Geog. Goiânia*. 31 (2).

D. CUENCA MONTANA

Servicio ambiental de provisión hídrica en cuencas subtropicales

Andrea R. Díaz Gómez

Los servicios hidrológicos ambientales son las funciones de los ecosistemas que brindan a las personas agua en cantidad y calidad. Contribuyen al bienestar de la sociedad, garantizando el desarrollo de la agricultura bajo riego, industria y consumo de la población (Cudennec et al. 2007). Están relacionados al ciclo hidrológico y al proceso de regulación. Por lo tanto, la provisión hídrica en las cuencas dependerá del rendimiento hídrico, que se refiere a la cantidad de precipitación que llega a los cauces. A mayor rendimiento hídrico, más agua en el caudal, más provisión hídrica (CONDENSAN 2010). Esta función ecosistémica, no sólo depende del clima, de la configuración topográfica y geológica, sino también de la vegetación que ocupa las cuencas (Jobaggy et al 2013). La interacción entre los usos y coberturas del suelo y el clima (evapotranspiración, precipitación) determinan la cantidad de agua que finalmente llega a los ríos y arroyos, por lo tanto el ser humano tiene la capacidad de modificar el rendimiento hídrico al cambiar el uso y las coberturas del suelo. Por ejemplo, cambios sutiles en la evapotranspiración afectarían significativamente la cantidad de agua líquida que circula en el ecosistema (Wilcox et al, 2003, Brauman et al, 2007).

El modelo Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) es una herramienta que permite evaluar los servicios ecosistémicos destinado a tomadores de decisiones, permite cuantificar el rendimiento hídrico considerando los usos y cobertura del suelo. Es un modelo a escala espacio-temporal y se basa en los principios del balance hídrico, bajo un entorno SIG (Sistemas de información geográfica), de fácil acceso y uso por los usuarios (Vigerstol y Aukema, 2011).

Teniendo en cuenta la aceptación de modelos para evaluar la provisión de los recursos hídricos a diferentes escalas y la importancia del SE de provisión hídrica para el bienestar y el desarrollo del sistema socioeconómico, se analizó la distribución espacial del rendimiento hídrico en cuencas subtropicales de Tucumán en la actualidad, a partir del uso del módulo WY de InVest.

Caracterización del área

El área de estudio se corresponde a las cuencas subtropicales del NOA corresponden al Faldeo Oriental de las Sierras del Aconquija (FOA) y del Sudoeste (SS), formando parte de la gran cuenca del Río Salí. Estas cuencas presentan importantes núcleos poblacionales. Se diferencia un sector oriental cálido y seco con precipitaciones anuales del orden de 450-550 mm, y un sector occidental templado y húmedo con precipitaciones de 2000 mm anuales (Fernández et al, 2004). El régimen de las precipitaciones se caracteriza por un ciclo anual de precipitaciones bien marcado con mínimos en invierno. La temperatura media registra valores entre 24-28,5°C y en invierno oscila entre 10-13°C. Presenta un relieve montañoso de 5300m de altura máxima y 100 km de largo en sentido norte-sur, que actúa como barrera orográfica frente a los vientos cálidos y húmedos estivales provenientes del anticiclón del Atlántico (Figura D.1). Las cuencas estudiadas se detallan en la Tabla D.1.

Table D.1. Caracterización de las cuencas de estudio: Cuencas del Faldeo Oriental del Aconquija (FOA) y Sierras del Sudoeste (SS).

	Cuencas Hidrográficas	Área (km ²)
FOA	Famaila (FAM)	283
	Arenillas (ARE)	464
	Romano (ROM)	436
	Balderrama (BAL)	614
	Río SECO (RSE)	937
	Gastona (GAS)	1074
	Río Chico (RCH)	2097
SS	Matazambi (MAT)	424
	Marapa (MA)	2141
	Singuil (SIN)	550
	Chavarría (CHA)	257

Los caudales máximos durante la época húmeda (Octubre a Marzo) y mínimos en el período seco (Junio a Septiembre). El caudal máximo promedio de los ríos que descienden desde las Sierras del Aconquija es de aproximadamente 26 m³/s y el mínimo 0,37 m³/s.

El embalse Escaba, Río Hondo, los cuales cumplen con las funciones de control de crecientes, almacenamiento de agua para riego y generación hidroeléctrica. Además cuenta con recursos hídricos subterráneos y la recarga se produce principalmente por la percolación a lo largo del área pedemontana de las Sierras del Aconquija.

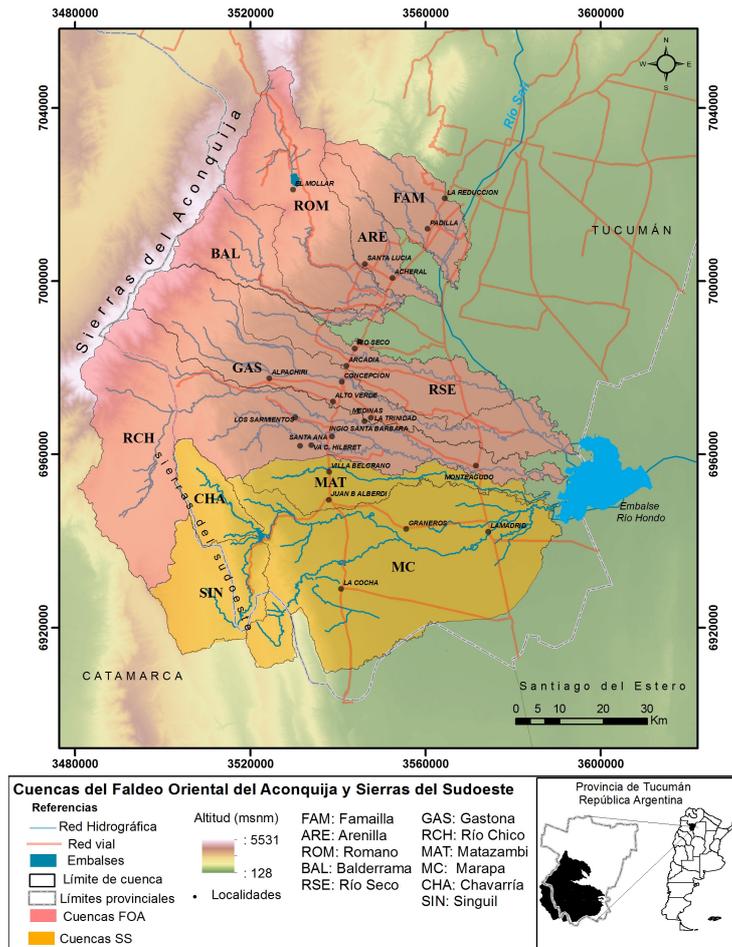


Figura D.1. Ubicación del área de estudio y cuencas hidrográficas.

Los pozos de más de 100 metros de profundidad que se distribuyen en el sector central, muestran niveles de surgencia y buena calidad, convirtiendo a la zona en una de las cuencas artesianas más importantes de la región.

La demanda del recurso hídrico se encuentra diferenciada en el consumo humano y el consumo para la producción agrícola. La eficiencia global del uso del agua es de 35%. La disponibilidad hídrica superficial por persona es menor a 1000 m³/habitante/año, indicando escasez hídrica generalizada (SIDSA 2005). En cuanto a la distribución espacial de los usos agrícolas y la población se ubica en las cuencas medias y bajas (600 a 200msnm), mientras que en la cuenca alta (hasta 4000m) se conserva la cobertura vegetal nativa debido a las elevadas pendientes y la menor rentabilidad de la explotación agrícola. La producción agrícola se basa en cultivos de secano: soja y maíz. Los cultivos bajo riego son: caña de azúcar, arándano, papa y tabaco. Un 93% de la superficie se riega por surco y el resto por aspersión. El consumo para uso Industrial: es a través de una planta productora de cerveza, una fábrica productora textil-calzado deportivo y cuatro fábricas azucareras cuyo período de producción se encuentra entre los meses de déficit hídrico en el área de estudio. El recurso hídrico para consumo humano es obtenido principalmente de aguas subterránea para una población de

329.431 habitantes (Censos INDEC, 2010. Disponibles en la web), distribuidos principalmente en centros urbanos ubicados en la zona media de las cuencas (Tabla D.2).

Tabla 2. Principales usos y demandas del recurso hídrico en las cuencas representativas del faldeo oriental del Aconquija, Tucumán.

Usos	Demanda Bruta (Hm ³ /año)
Consumo Humano (329.431 habitantes)	6012
Producción Hidroeléctrica	Uso no consuntivo
Industrial	
Planta cervecera	0.009
Ingenios azucareros	1344
Riego Agrícola	
Caña de azúcar	652
Arándano	5
Totales	8013

La máxima demanda del recurso hídrico coincide con la estación de menor oferta hídrica en las cuencas, coincidencia del período de estiaje con la mayor demanda de parte del sector agrícola e industrial.

El análisis del servicio de provisión hídrica en las cuencas en estudio cuantificó aplicando el módulo WY (Water Yield) de InVEST Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs Versión 2.5.6. El WY se basa en el análisis del balance hídrico en una escala espacio-temporal anual, considerando las dos direcciones de flujo principales de la circulación del agua en el ecosistema: flujos evaporativos, que retornan a la atmósfera y los flujos líquidos que alimentan cuerpos superficiales y subterráneos (Bradshaw et al. 2007). En los flujos evaporativos se tienen en cuenta las características intrínsecas de la vegetación como factor $K_c(x)$, que es el coeficiente de evapotranspiración de la vegetación; el agua disponible para la planta (mm) (PAWC) y la profundidad del horizonte del suelo (mm), que definirán la capacidad de la vegetación de acceder al agua del suelo y entregarla a la atmósfera a través de la transpiración. El cálculo de la provisión hídrica depende de las características de la cobertura vegetal.

El WY funciona en un entorno SIG y requiere las siguientes capas temáticas: relacionadas al clima: precipitación anual (mm) y evapotranspiración potencial anual (mm); capas relacionadas a la cobertura como: el agua disponible para la planta (mm) (PAWC); los mapas de uso y cobertura del suelo y los límites de cuencas hidrográficas.

Los datos de precipitación anual para el área de estudio se obtuvieron a partir del Atlas Climático Digital de la República Argentina INTA (INTA, 2012). Además requiere una constante

de Zhang (Z) que se define a partir de la estacionalidad de las precipitaciones en el área de estudio, dependiendo del clima de cuenca si presenta precipitaciones estacionales o no, con un máximo estival o mínimo invernal. La profundidad del horizonte fue calculada a partir del Atlas digital de tipos del suelo (INTA). Se utilizó el mapa de usos y cobertura del suelo para las cuencas del año 2010 (Díaz Gómez 2015), donde se identificaron 6 clases de cobertura con una superficie de ocupación de: bosque (32%), bosque seco (8%), agua, pastizales de altura (16%), cultivos de granos (16%) y otros cultivos (25%) de la superficie total. La delimitación de las cuencas fue definida a partir del modelo de elevación digital (ASTER GDEM de 30m) y la base de hidrografía superficial se tomó de cartografía digital de la Provincia de Tucumán.

La aplicación del módulo WY permitió zonificar la distribución del rendimiento hídrico en las cuencas subtropicales de Tucumán, cuyos resultados sugieren que las zonas con mayor rendimiento hídrico se ubican en la zona oeste del área de estudio, debido al balance hídrico positivo, donde las precipitaciones anuales son abundantes y la cobertura del suelo corresponde a las zonas boscosas. Por otro lado, en las zonas de llanura hacia el este, las precipitaciones presenta rangos inferiores y el uso principal del suelo son los cultivos.

El análisis con SIG logró identificar las cuencas que presentan máximos valores de rendimiento hídrico por año, cuyos resultados revelan que los mayores de rendimientos hídricos se ubican en las cuencas FOA: BAL (6920 m³/ha.año), ROM (6186 m³/ha.año), GAS (6225 m³/ha.año), RCH (5685 m³/ha.año) y ARE (6425 m³/ha.año) y en cuencas FAM (6236 m³/ha.año).

Las cuencas con menor provisión hídrica son las cuencas SS, SIN, MAT y MC, debido a que no alcanzan un valor de 4000 m³/ha.año, presentando una menor cobertura boscosa, y las precipitaciones en esta zona no superar los 1000 mm anuales.

En la Figura D.2. se presenta la distribución espacial del rendimiento hídrico a diferente escala de interpretación: a) escala de píxel, y b) a escala de cuenca hidrográfica.

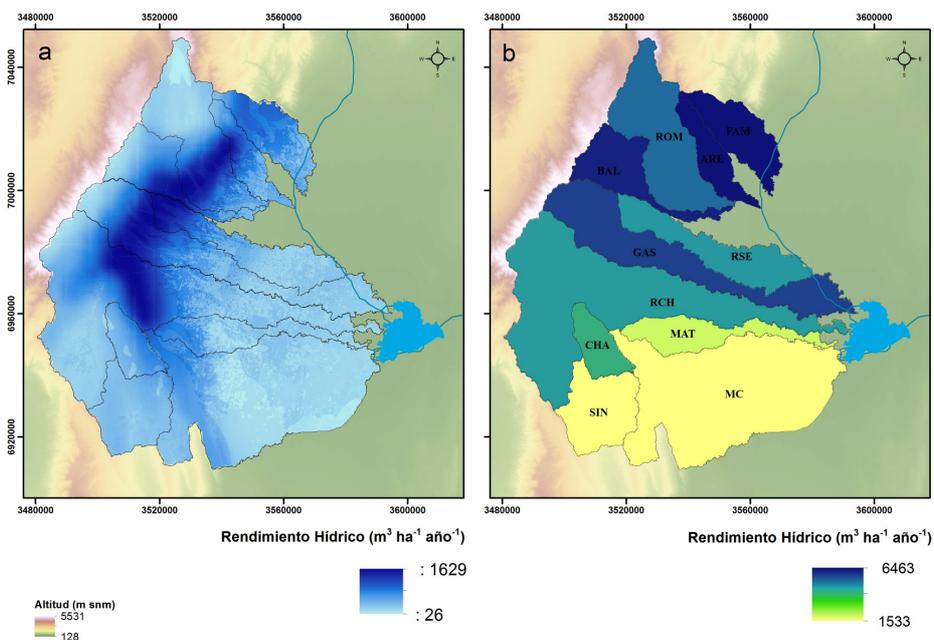


Figura D.2. Distribución espacial del rendimiento hídrico a diferente escala de interpretación: a) escala de píxel; b) a escala de cuenca hidrográfica.

La distribución espacial de los cambios de usos y coberturas del suelo en las cuencas subtropicales del NOA corresponden al Faldeo Oriental de las Sierras del Aconquija (FOA) y del Sudoeste (SS), genera cambios en la respuesta hidrológica del ecosistema, alterando la regulación del SE de provisión hídrica. Es importante mencionar, que cualquier cambio en el uso del territorio, altera la cantidad de agua que llega a los ríos, reduciendo o incrementando el rendimiento hídrico. El análisis de la distribución espacial del SE de provisión hídrica, a partir del modelo inVEST a diferentes escalas espaciales (pixel, cuenca), permitió establecer pautas para la planificación y el manejo integral de las cuencas hidrológicas.

Las cuencas FOA, constituyen zonas de oferta de SE de provisión hídrica. Las cuencas con menor rendimiento hídrico son las cuencas de la SS, donde un balance negativo podría generar alteraciones en el suministro de agua para abastecer las demandas en la cuenca. Incremento en el consumo de agua subterránea para riego por ejemplo, pérdida de las producciones debido a la falta de agua para riego, entre otros. De esta manera, las cuencas más vulnerables ante escenarios de sequía o cambios en el régimen estacional de las precipitaciones son las cuencas SS.

Se concluye que para el estudio y análisis de los servicios ambientales se requiere de una interacción de diferentes disciplinas, de la mirada integral de los sistemas naturales, sociales y económicos. Para asegurar el funcionamiento de los ecosistemas y la oferta de sus servicios, se debe analizar tanto la oferta como la demanda del mismo a diferentes escalas y en su contexto territorial.

La provisión hídrica se refleja en el valor de los caudales generados en cada cuenca y su relación con la demanda para los distintos usos. Sin embargo, puntos de medición de caudal son escasos en esta zona de estudio. El monitoreo de caudales en las diferentes cuencas constituye una necesidad para estudiar las relaciones entre la oferta y la demanda de la provisión hídrica. Para establecer los rangos de consumo y conocer los beneficiarios de este SE, es necesario desarrollar indicadores de demanda de provisión hídrica para los diferentes usos y consumos del recurso. Por ejemplo establecer redes de monitoreo del consumo de agua para riego, extracción de agua subterránea, uso industrial, requerimientos hídricos de los cultivos.

Bibliografía

ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM V2) 2011. *The release of the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, the Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) of Japan and the United States National Aeronautics and Space Administration (NASA).*

Bianchi, A. y Cravero, S. (2010). *Atlas climático digital de la República Argentina.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

- Bradshaw, C., Sodhi, N., Peh K. y Brook, B. (2007). "Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world". En *Global Change Biology*, N°13.
- Brauman, K., Daily G., Duarte T. y Mooney, H. (2007). "The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services". En *Annu Rev Environ Resour*, N°32.
- Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) (2010). "Servicios ambientales hidrológicos en la región andina". En *Agua y Sociedad*, N°12. Serie Panorama Andino, 1. En línea. Disponible en:
<www.condesan.org/portal/sites/default/files/publicaciones/archivos/servicios_ambientales_hidrologicos_en_la_region_andina.pdf>.
- Cudennec C, Leduc C. y Koutsoyiannis, D. (2007). "Dryland hydrological in Mediterranean regions-a review". En *Hydrological Sciences Journal*, 52(6).
- Díaz Gómez, R. (2015). "Análisis de la Vulnerabilidad a cambios climáticos y de uso del territorio en las cuencas del Faldeo Oriental del Aconquija y Sierras del Sudoeste". Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tucumán.
- FAO (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements; Natural Resources Management and Environment Department (FAO)*. Roma. En línea. Disponibe en: <www.fao.org>.
- Fernández, D., Lutz, A., García, M., Hidalgo, M., Sirombra, M., Neder, L., García Azcárate, J. y Villegas, D. (2004). "Carta de Líneas de Base Ambiental 2766-IV "Concepción". Provincias de Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero". En *SEGEMAR*.
- Jobbagy, E., Acosta, A. y Nosseto, M. (2013). "Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina)". En *Ecología Austral*. 23(2).
- SIDSA (2005). *Sistema de Indicadores de Desarrollo Sostenible para Argentina*. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Vigerstol, K. y Aukema, J. (2011). "A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services". En *Journal of environmental management*. 92(10).
- Wilcox B., Seyfried, M. y Breshearr, D. (2003). "The water balance on rangelands". En Stewart, B. y Howell, T. (Eds.). *Encyclopedia of Water Science*. Nueva York: Marcel Dekker.

Los autores

Fernanda Julia Gaspari

Ingeniera Forestal, y Magister Scientiae Conservación y Gestión del Medio Natural. Doctora en Ingeniería Hidráulica. Con 22 años en docencia universitaria, siendo actualmente en Grado Profesora Adjunta a Cargo del Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). En Post-Grado se desempeña como Codirectora de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, siendo además Profesora a cargo de dos cursos. Entre sus publicaciones se encuentran 9 libros, 8 capítulos de libro, 42 artículos en revistas y 94 trabajos en congresos. Ha realizado 22 informes técnicos y informes, y organizado 8 convenios inter-institucionales. Dirigió 12 tesis de Maestría; y actualmente tiene 2 en desarrollo. Dirige 2 tesis de doctorado y dos ya doctorados. Ha dirigido 4 becas de experiencia laboral y 3 becas de Postgrado.

Gerardo Andrés Denegri

Ingeniero Forestal (FCAYF-UNLP), Magíster en Economía Ambiental y Recursos Naturales por la Universidad de Los Andes, Colombia. Profesor- investigador del Departamento del Departamento de Desarrollo Rural, FCAYF-UNLP Argentina. Su línea de investigación actual es en “Cadenas foresto industriales” y en “Servicios ambientales de ecosistemas”. Entre sus últimas publicaciones destacan en coautoría: -2013 “Costos mínimos de compensación y cuantificación de la oferta hídrica en la cuenca alta del Río Sauce Grande. Argentina”. Investigaciones Geográficas (UNAM, México). Núm. 80, 2013, pp. 55-70. -2013 “Principales Cadenas Foresto Industriales de la Patagonia Argentina: Análisis desde una Perspectiva Territorial”, Revista Desarrollo Local Sostenible. Vol 6, Nº 17 (Junio 2013) Grupo Eumed.net Univ. De Málaga España. -2015 “Impactos producidos por la actividad forestal en los Departamentos Minas y Ñorquín, Provincia del Neuquén, República Argentina”. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata, 114(3), 232-245

Gabriela Elba Senisterra

Ingeniero Forestal y Magister en Manejo Integral de Cuencas, recibida en la Universidad Nacional de La Plata (Argentina). Es docente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

(UNLP) desde el año 1983, desarrollando tareas en los cursos de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Mejoramiento Genético Forestal. Además es docente de cursos de postgrado en Ordenamiento Territorial. Participa en proyectos de Incentivos a la Investigación desde el año 1999. Entre sus publicaciones se encuentran 4 libros, 34 artículos en revistas científicas y 56 publicaciones en congresos, simposios y jornadas de la especialidad. Dirigió dos tesinas de grado. Participa de proyectos acreditados a nivel nacional.

María Isabel Delgado

Ingeniera Forestal (2005), en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP. En el año 2009 obtuvo el título de Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas (FCAF – UNLP). En el año 2012 defendió su tesis Doctoral en Ingeniería en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. Obtuvo el título de Especialización en docencia universitaria (UNLP). Su actividad laboral la desarrolla en la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, donde se desempeña como Ayudante diplomada con dedicación simple. Fue Becaria Doctoral y Postdoctoral del CONICET. Durante su formación de grado realizó diversas pasantías en INTA Cafayate, INTA Trevelin y el Servicio Forestal Andino, y en Iowa State University, USA. Ha codirigido una tesis de maestría. Participa de convenios y proyectos acreditados. Ha publicado en revistas nacionales e internaciones, y ha participado como expositora en Congresos nacionales e internacionales.

Alfonso Rodríguez Vagaría

Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. U.N.L.P. 2007. Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 2010. 16 Cursos de perfeccionamiento, Distinción Dr. Joaquín V. González. Ayudante Diplomado Ordinario Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. U.N.L.P desde Marzo de 2007. Categoría de docente - investigador V. Miembro de la Junta Departamental de Ambiente y Recursos Naturales. F.C.A.F.. U.N.L.P. 2.008-2012. 1 Subsidio recibido. Participante en 5 Convenios. 15 participaciones en jornadas y simposios. 9 participaciones en proyectos acreditados de investigación. Trabajos publicados: 5 libros; 16 en Revistas y 30 en Congresos. 7 informes al sector público.

Andrea Romina Díaz Gómez

Licenciada en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Doctora en Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Becaria postdoctoral (2015 – 2017) CONICET. Investigador principal de proyectos: Dinámica hídrica del Bañado La Estrella,

Cuenca Trinacional del río Pilcomayo. Fundación Proyungas (2014 – 2015); Evaluación del servicio de provisión y regulación hídrica en el Parque Nacional Campo de los Alisos, Tucumán, autorizado por la Administración de Parques Nacionales, Argentina (2014-2016). Participante en proyecto: Servicios agroecosistémicos para el ordenamiento territorial en la provincia de Buenos Aires (UNLP). Participación en congreso nacionales e internacionales relacionados a los servicios ecosistémicos e hidrología. Docencia en cursos de postgrado en teledetección y SIG para el manejo de los recursos naturales.

Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento
agrohidrológico en cuencas hidrográficas / Julia Fernanda
Gaspari ... [et al.] ; coordinación general de Fernanda Julia
Gaspari ; Gabriela Elba Senisterra. - 1a ed adaptada. - La Plata :
Universidad Nacional de La Plata, 2016.
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-950-34-1324-1

1. Ambiente. I. Gaspari, Julia Fernanda II. Gaspari, Fernanda Julia, coord. III. Senisterra,
Gabriela Elba, coord.
CDD 577

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata
47 N.º 380 / La Plata B1900AJP / Buenos Aires, Argentina
+54 221 427 3992 / 427 4898
edulp.editorial@gmail.com
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2016
ISBN 978-950-34-1324-1
© 2016 - Edulp

n
naturales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA