

## **VULNERABILIDAD DE UNIDADES DE PAISAJE EN UNA CUENCA DE SANTA FE, ARGENTINA**

**Sergio Montico**

Manejo de Tierras. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario  
CC 14. S2125ZAA. Zavalla. Santa Fe. Argentina  
e\_mail: smontico@unr.edu.ar

### **RESUMEN**

Las unidades de paisaje que conforman las cuencas poseen atributos que le confieren susceptibilidad a las diferentes amenazas. El objetivo de este trabajo fue evaluar la vulnerabilidad de la cuenca del arroyo Ludueña (Santa Fe, Argentina) y de sus unidades paisajísticas a problemáticas hídricas mediante un procedimiento de estudio multidimensional. Se seleccionaron indicadores de cinco dimensiones: Ambiental Natural, Ambiental Construida, Social, Política Institucional y Productiva Económica y sus valores fueron definidos por el Método Delphi. Del relevamiento y posterior procesamiento de los indicadores se obtuvo la vulnerabilidad de cuatro unidades de paisaje y de la cuenca. Las dimensiones más vulnerables son la Ambiental Natural, la Productiva Económica y las unidades de paisaje ubicadas en los sectores con peores atributos ambientales. El conocimiento de las vulnerabilidades territoriales posibilita la implementación con mayor precisión, la gestión estratégica de acciones relacionadas con los usos del suelo, el ordenamiento de las áreas urbanas y periurbanas, y la construcción de obras hidráulicas.

**Palabras clave:** vulnerabilidad, unidades de paisaje, cuenca, arroyo Ludueña, problemáticas hídricas.

### **ABSTRACT**

Landscape units that make up the basin have attributes that confer susceptibility to different threats. The objective of this study was to evaluate the vulnerability of Ludueña stream basin (Santa Fe, Argentina) and its landscape units to hydric problematics through a multidimensional study procedure. Indicators were selected five dimensions: Natural Environment, Built Environment, Social, Institutional Political and Economic Productive and values were defined by the Delphi Method. The survey and subsequent processing of the vulnerability indicators scored four landscape units and basin. The dimensions most vulnerable were the Natural Environmental and Economic Productive, and the landscape units, those located in areas with the worst environmental attributes. Knowledge of possible territorial vulnerabilities with greater precision implementing strategic management actions related to land use, the management of urban and surrounding areas, and hydraulic projects construction.

**Keywords:** vulnerability, landscape units, basin, Ludueña stream, hydric problematics.

## INTRODUCCIÓN

Dar prioridad a las unidades de tierra para la gestión ambiental y la planificación es fundamental en cualquier proceso destinado a la mejora de las condiciones urbanas y ambientales (Papadimitriou, 2012). Es indudable que los problemas territoriales incorporan un gran número de partes interesadas con diferentes orígenes, intereses, autoridades e interpretaciones de algunos de sus problemas (Fountas et al., 2006; Serra et al., 2008). Según Veldkamp y Lambin (2001) y Nash et al. (2005), estos actores interactúan decisivamente con las características del paisaje. Papadimitriou (2012) considera que un problema central es la carencia de métodos para estimar la complejidad del paisaje y que se necesitan métodos diferentes de los utilizados hasta ahora.

Existen propuestas mecanicistas y otras con un importante sesgo subjetivo. Algunos investigadores (Muñoz-Pedrerros, 2004; Jeong et al., 2013) proponen mejorar el problema de la subjetividad con la participación de grupos de evaluadores cuya opinión global es representativa y asignan expresiones numéricas a atributos del paisaje. Una alternativa para reducir al máximo la subjetividad inherente a la consulta a paneles de expertos es el Método Delphi, donde estos aportan una valoración de los diferentes componentes de cada elemento del medio en un proceso de evaluación que se inicia en el nivel más bajo de desagregación (Arranz González y Alberruche del Campo, 2008).

Uno de los rasgos más sobresalientes de las unidades paisajísticas es la vulnerabilidad (Monti, 2009), que según Horcajada Herrera et al. (2001) es la predisposición o susceptibilidad intrínseca de los componentes antrópicos del sistema territorial para ser dañados total o parcialmente debido al impacto de una amenaza.

Las cuencas son territorios frecuentemente amenazados por diversos eventos e interesa precisar la vulnerabilidad que poseen, principalmente frente a aquellos de mayor envergadura (Montico y Pouey, 2001).

En la provincia de Santa Fe (Argentina), el sistema hidrológico del arroyo Ludueña desde hace más de tres décadas está sometido a permanentes modificaciones del uso del suelo y a cambios en el comportamiento de variables climáticas que generan continuas situaciones de amenazas hídricas en su territorio (Zimmermann et al., 2001; Montico y Di Leo, 2008). Diversos autores que estudian las nuevas

condiciones hidráulicas, acuerdan en la necesidad de intervenir en la cuenca a través de medidas que minimicen las amenazas que implican los cambios en los patrones de escorrentía, en los procesos erosivos, en la dinámica de las napas, en las condiciones de inundabilidad y en la alteración de los balances hídricos (Zimmermann y Riccardi, 2002; Montico, 2009; Basile et al., 2012; Navarro, 2012).

El objetivo de este trabajo es evaluar la vulnerabilidad de la cuenca del arroyo Ludueña y de sus unidades paisajísticas a problemáticas hídricas mediante un procedimiento multidimensional.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la cuenca del arroyo Ludueña (70000 has) en el sureste de la provincia de Santa Fe, entre los paralelos 32°45' S y 33°08' S y los meridianos 61°04' O y 60°39' O. El clima es subhúmedo mesotermal, con una temperatura media anual de 17°C y con un monto de precipitaciones totales promedio de 1110 mm. La cabecera de la cuenca está formada por un bloque elevado y basculado hacia el NE, que define la dirección de las cañadas y conectan este bloque elevado con el hundido hacia la margen del Río Paraná. La red de cursos permanentes y transitorios mide 140 km, con una pendiente media de 1.0‰. El caudal base del arroyo es de 0.50 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, en tanto que en crecidas ordinarias se alcanzan los 80 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> y en extraordinarias (R>50 años) caudales superiores a 400 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

El territorio fue dividido por Bonel et al. (2005) a escala 1:50000 en cuatro unidades de paisaje (UP), cada UP representa un área homogénea en geoforma, relieve, drenaje y suelos (Figura 1). Las principales características de las UP se describen a continuación:

### Unidad de paisaje N°1 (UP1)

Abarca posiciones de relieve correspondientes a lomas extensas y ligeramente onduladas, con pendientes menores al 1% (0.5-1%). El escurrimiento es moderado a bueno y el drenaje es bueno. No existe peligro de anegamiento o inundación y la napa freática, por su profundidad, no influye en las propiedades edáficas. En las áreas con mayor pendiente existe ligero peligro de erosión. La capacidad de uso corresponde a I-2. Los suelos son Argiudoles típicos de la Serie Peyrano (Py) y Consociación Serie Peyrano fase suavemente ondulada (Py8). La UP1 está atravesada por áreas inclinadas hacia los cauces situados al pie de la loma constituyendo áreas cóncavas, cuyos suelos corresponden a las

Consociaciones Serie Peyrano moderadamente engrosada (Py2x) y Serie Peyrano bien drenada y engrosada

(Py20), la clasificación por capacidad de uso corresponde a  $II_e$  y  $II_w$ , respectivamente.

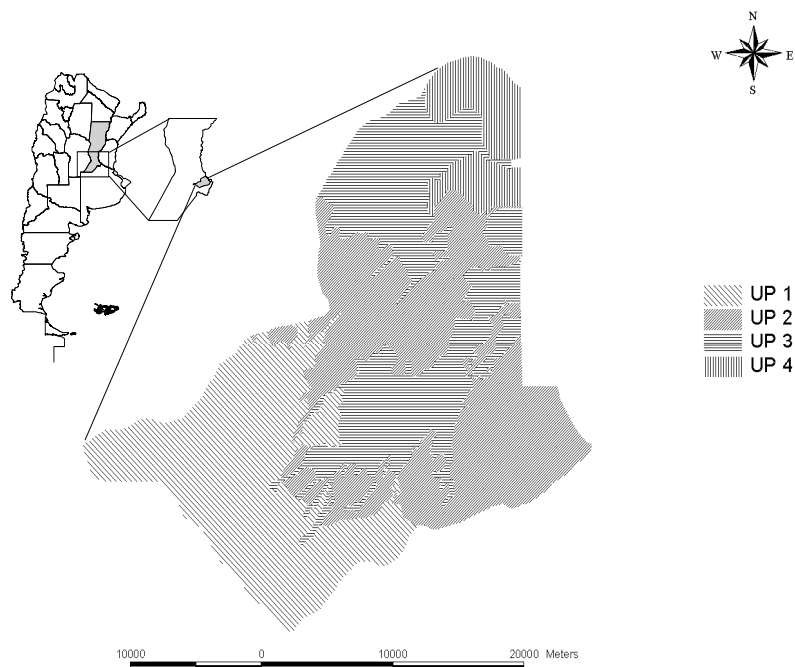


Figura 1. Unidades de paisaje en la cuenca.

#### Unidad de paisaje N°2 (UP2)

Abarca lomas extendidas. Algunos sectores corresponden a interfluvios entre vías de drenaje. Están presentes numerosos microrrelieves dando un aspecto “cribado”. La permeabilidad del suelo es lenta y el perfil edáfico tiene características hidromórficas y son afectados por alcalinidad sódica, siendo el escurrimiento lento. Las posiciones más altas están ocupadas por suelos de la Serie Roldán (Rd) y en menor medida por la Serie Monte Flores (MF). Las microdepressiones están ocupadas por suelos de la Serie Gelly (Ge), Monte Flores (MF) y Zavalla (Za), con Capacidad de Uso:  $II_{w-s}$  y  $II_w$ . El área está atravesada por sectores cóncavos con pendientes menores al 1%, de lenta permeabilidad, anegables y de escurrimiento lento. Estos sectores también están afectados por alcalinidad sódica. Los suelos presentes corresponden a las Series MF y Rd (fases erosionada y engrosada) y Ge, con capacidad de uso:  $IV_{w-s}$ . La clasificación taxonómica de las series corresponde a Natralbol típico (Ge), Argialbol típico (MF) y Natracualf típico (Za). Los suelos de la UP2 comprenden las consociaciones Rd8, Rd12, Rd15y Rd11.

#### Unidad de paisaje N°3 (UP3)

Abarca posiciones en el paisaje correspondiente a áreas planas, bajas, amplias y vías de avenamiento

digitiforme, de permeabilidad lenta a muy lenta y drenaje impedido a pobre. Los gradientes de pendientes son menores a 0.5% y el escurrimiento es lento. Los suelos presentan alcalinidad sódica y sales, y son Consociaciones de las Series Rd, Ge, Za, Manantiales (Ma), Za y MF, con capacidades de uso que comprenden las clases  $VI_{w-s}$  y  $VII_{w-s}$ . Taxonómicamente corresponden a Argiudoles vérticos (Rd), Argiudol ácuico (Ma), Argialboles típicos (MF), Natralboles típicos (Ge) y Natracualfes típicos (Za), y están presentes en las Consociaciones Rd10, Za2 y Za3.

#### Unidad de paisaje N°4 (UP4)

Abarca posiciones de paisaje correspondiente a amplias lomadas, con pendientes de 0.5 %, escurrimiento lento a moderado y drenaje moderado a bueno. La napa freática se encuentra entre 5 y 15 metros de profundidad. El suelo representativo es un Argiudol vértico que corresponde a la Serie Roldán, cuya capacidad de uso es I-2.

Como afirma Lavell (2003), son las características de los elementos expuestos a las amenazas, población, asentamientos, producción, infraestructura, etc., los que los hacen propensos de sufrir daño al ser impactados por eventos físicos. Para determinar

la vulnerabilidad de la cuenca y de las unidades de paisaje a la amenaza hidrológica, se utilizaron indicadores que permiten valorar y comparar atributos que participan en la conformación de esta condición (Cardona Arboleda, 2003; Guttman Sterimberg et al., 2004; Monti, 2009). La amenaza se definió por las características de los patrones de escurrimiento y drenaje, procesos de erosión hídrica, dinámica de napas y condiciones de inundabilidad.

Los indicadores se agruparon de acuerdo a la escala de participación en diferentes niveles anidados de mayor a menor detalle, y según el componente que caracterizan, en distintas dimensiones. Los niveles de trabajo fueron la cuenca y las UP, y las dimensiones: Ambiental Natural, Ambiental Construida, Social, Política Institucional y Productiva Económica.

La vulnerabilidad de cada UP se obtuvo a través de la suma de los valores ponderados por dimensión que adopta cada indicador. En la Tabla 1 se indican los niveles de intervención, las dimensiones, componentes y subcomponentes y los indicadores utilizados para el cálculo de la vulnerabilidad.

El valor del Indicador (I) se obtuvo como el producto del nivel de severidad ( $\alpha$ ) y el nivel de participación en la construcción de la vulnerabilidad ( $\beta$ ):  $I = \alpha \times \beta$ , ambos valores varían entre 0 y 1.

Valores  $\alpha$  y  $\beta$ , fueron obtenidos por Monti (2009) mediante la consulta a expertos por el Método Delphi en una cuenca similar y ajustados para la cuenca del arroyo Ludueña mediante un nuevo panel de once expertos. A cada uno de ellos se le suministró por separado la información necesaria para completar una tabla de valoración y la consigna de la consulta, la cual se realizó de manera anónima y por correo electrónico. Finalizado el proceso Delphi, se obtuvieron los valores definitivos de  $\alpha$  y  $\beta$ .

Cada dimensión de acuerdo a la cantidad de indicadores intervinientes tuvo un valor de máxima vulnerabilidad posible (VLM), igual a la suma de todos los valores máximos de todos los indicadores participantes en esa dimensión, un valor de mínima vulnerabilidad posible (VLm), igual a la suma de todos los valores mínimos, y un valor medido (VM) igual a la suma de todos los valores registrados. Con los valores de VLM, VLm y VM, se obtuvo un valor proporcional que representó la vulnerabilidad de la dimensión ( $V_d$ ) para cada UP, de acuerdo a la ecuación (1) utilizada por Sepúlveda et al. (2005):

$$V_d = \frac{VM - VLm}{VLM - VLm} \quad (1)$$

La integración de la Vulnerabilidad de la Dimensión en las UP se realizó en forma ponderada con respecto a la superficie que representan ( $V_{dC}$ ), según la ecuación (2). Con igual criterio se calculó la vulnerabilidad de la cuenca ( $V_C$ ).

$$V_{dC} = \frac{V_{dUP} \cdot S_{UP}}{S_C} \quad (2)$$

Con el propósito de conocer la importancia de las dimensiones en la participación de la construcción de la vulnerabilidad, se elaboró una grilla con la valoración cualitativa de la vulnerabilidad de cada UP y fueron clasificadas de acuerdo a las siguientes categorías: Alta,  $> 0.66$ ; Media,  $0.66-0.33$ , Baja,  $< 0.33$ .

A través de un tablero de características de las vulnerabilidades altas y medias, se propusieron acciones para su minimización a nivel de las UP y de la cuenca.

El relevamiento de las atributos de las unidades de paisaje consideró los trabajos de Zimmermann et al. (2001), Bonel et al. (2005), Montico y Di Leo (2008), Montico (2009), Basile et al. (2012), Navarro (2012), y consultas a informantes clave públicos y privados.

**Tabla 1. Indicadores agrupados por nivel, dimensión, componente y subcomponente, y valores de participación y severidad ( $\beta$  y  $\alpha$ ).**

Dimensión	Componente	Sub componente	Valor $\beta$	Indicador/Clase	Clasificación		Valor $\alpha$
					Categoría	Valor	
Ambiental Natural	Geomorfología		6.00	Clases	Laguna		34.9
					Bajo tendido		27.4
					Loma plana		18.6
					Loma medanosa		19.1
	Relieve	Posición	5.25	Clases	Plano alto		10.2
					Media loma		16.3
					Pie de loma		31.3
					Plano bajo		42.2
	Pendiente	Gradiente	4.50	Clases	Ligera	< 0.99%	37.1
					Moderada	1.00 a 1.99%	33.3
					Fuerte	> 2.00%	29.6
		Longitud	5.00	Clases	Muy larga	> 1000 m	42.1
					Media	500 - 999	35
					Corta	> 500 m	22.9
	Forma de la UP	Índice de compacidad	2.75	Tipo	Compacta	1.00 a 1.49	28.3
					Alargada	1.50 a 1.99	34.6
					Muy alargada	>2.00	37.1
	Drenaje	Tipo de escurrimiento	5.50	Clases	Muy lento		29.2
					Lento		31.7
					Adecuado		15.2
					Rápido		16.3
					Muy rápido		7.6
		Profundidad del suelo	5.75	Clases	Somero	> 0.49 m	36.1
Poco profundo					0.50 - 0.99	36.5	
Medianamente profundo					1.00 - 1.49	21.6	
Profundo					> 1.50 m	5.8	
Capacidad de Infiltración		5.75	Clases	Muy lenta		26.7	
				Lenta		39.6	
				Normal		16	
	Rápida				11.4		
	Muy rápida				6.3		
Unidad edáfica	Clases de Uso Agrícola	5.00	Índice Capacidad Productiva	Muy Alto (I)	85 - 100	5.0	
				Alto (II-III)	84 - 70	12.1	
				Medio (IV)	69 - 55	23.6	
				Bajo (VI)	54 - 40	27.9	
				No agrícola (VII)	< 39	31.4	
Ambiental Construido	Accesibilidad	2.00	Índice de Accesibilidad	Aislado		29.3	
				Muy dificultada		34	
				Medianamente dificultada		19.1	
				Poco dificultada		15.5	
				No dificultada		2.1	
	Vivienda e Instalaciones	1.50	Índice de densidad de infraestructura	Muy alto	> 0.60	25.1	
				Alto	0.31 a 0.59	23.3	
				Medio	0.20 a 0.30	20.2	
				Bajo	0.1 a 0.19	16.1	
				Muy bajo	< 0.09	15.3	

**Tabla 1. Indicadores agrupados por nivel, dimensión, componente y subcomponente, y valores de participación y severidad ( $\beta$  y  $\alpha$ ) (continuación).**

Dimensión	Componente	Sub componente	Valor $\beta$	Indicador/Clase	Clasificación		Valor $\alpha$
					Categoría	Valor	
Productiva - económica	Uso actual de la tierra		4.75	Clases	Agrícola continuo		38.1
					Ganadería cría continuo		10.3
					Ganadería ciclo compl. continuo		15.2
					Ganadería tambo continuo		14.2
					Agrícola - Ganadera		22.2
	Tipo de uso de la tierra	Manejo	5.50	Clases	Rotación A-G		23,1
					Rotación cultivos		29,2
					Monocultivo		47,7
		Labranza	5.00	Clases	Convencional		69,1
					Directa		30,9
					Alta		48,6
					Media		29,2
Uso de insumos	2.50	Clases	Baja		22,2		
Social	Tipo de tenencia		2.75	Índice de tenencia	Estable	> 0.75	22.4
					Medianamente estable	0.5 a 0.74	27.3
					Inestable	0.25 a 0.49	26.6
					Muy Inestable	< 0.24	23.7
	Presión demográfica		5.50	Índice de Presión demográfica	Expulsión	< 1	11.3
					Constante	1 a 10	15.3
					Creciente	10 a 100	31.5
					Excesivamente creciente	>100	41.9
	Concentración de la explotación		4.75	Índice de Gini	Baja	< 0.24	28.4
					Media	0.25 - 0.49	30.1
					Alta	0.50 - 0.74	24.1
					Muy alta	> 0.75	17.4
Político Institucional	Capacidad de organización		3.25	Índice de participación	Muy baja	< 9%	36.4
					Baja	10 - 24%	28
					Media	25 - 49%	20.2
					Alta	50 - 74%	8.2
					Muy alta	> 75%	7.2
	Capacidad de Negociación de las organizaciones de productores		2.75	Índice de Negociación	Alto/Medio – Medio/Alto		9.2
					Medio/Medio – Bajo/Alto		19.6
					Medio/Bajo – Bajo/Medio		71.2

## RESULTADOS

Para cada UP se aplicaron los indicadores de la Tabla 1 y se obtuvieron las vulnerabilidades que se muestran en la Tabla 2. Proporcionalmente las dimensiones Ambiental Natural y Productiva Económica poseen una vulnerabilidad ajustada a la superficie ( $VUP_{aj}$ ), mayor. La UP3 y UP2 son las más vulnerables, siendo la UP2 4.3% menos

vulnerable que la primera, y UP1 y UP4, 37.6% y 50%, también menos vulnerables que UP3, respectivamente.

En la Tabla 3 se indica el orden jerárquico de las dimensiones de las UP según la vulnerabilidad. De esta manera se indica el peso relativo sobre la estructura de la vulnerabilidad de modo de identificar sobre cuál de ellas se soporta principalmente.

**Tabla 2. Vulnerabilidad total y proporcional en cada dimensión de las unidades de paisaje de la cuenca.**

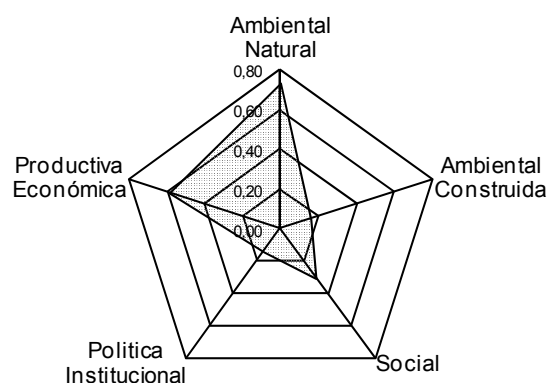
UP	Sup. x10 <sup>3</sup> (ha)	Dimensión										VUP <sub>aj</sub>
		Ambiental Natural		Ambiental Construida		Social		Política Institucional		Productiva Económica		
		Vd	%	Vd	%	Vd	%	Vd	%	Vd	%	
1	21.43	0.53	36	0.13	9	0.24	16	0.14	10	0.42	29	1.46
2	20.32	0.92	41	0.17	8	0.33	15	0.14	6	0.68	30	2.24
3	19.03	0.86	37	0.20	9	0.37	16	0.14	6	0.77	33	2.34
4	6.09	0.39	33	0.11	9	0.22	19	0.14	12	0.31	26	1.17

UP: Unidad de Paisaje, Vd: vulnerabilidad de la dimensión en la UP, VUP<sub>aj</sub>: Vulnerabilidad de la unidad de paisaje ajustada a la superficie de la UP.

**Tabla 3. Orden de importancia de las dimensiones en la participación de la construcción de la vulnerabilidad en las unidades de paisaje.**

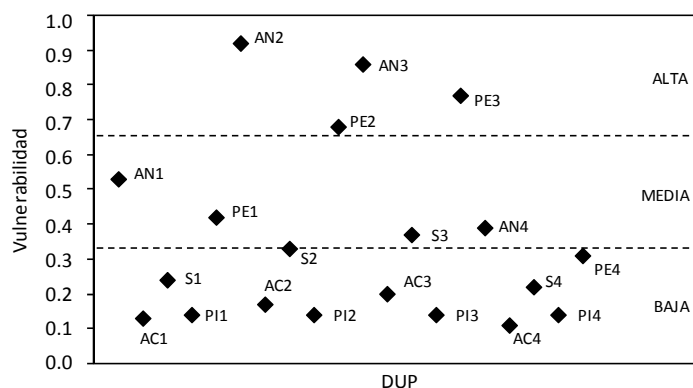
Unidad de Paisaje	Ambiental Natural	Ambiental Construida	Social	Política Institucional	Productiva Económica
1	1°	5°	3°	4°	2°
2	1°	4°	3°	5°	2°
3	1°	4°	3°	5°	2°
4	1°	5°	3°	4°	2°

Los aportes de las vulnerabilidades suministradas por la participación de las UP ponderadas espacialmente, definieron la estructura de la vulnerabilidad de la cuenca como categoría superior que reúne y articula a los cuatro sectores en una sola entidad funcional. En la Figura 2 se observa cómo está estructurada la vulnerabilidad de la cuenca, siendo las dimensiones más relevantes la Ambiental Natural y la Productiva Económica.



**Figura 2. Estructura de la vulnerabilidad de la cuenca.**

En la Figura 3 se observa la ubicación de los valores de vulnerabilidad de las relaciones entre las dimensiones y las UP según la clasificación propuesta, mostrando que el 45% de ellas se ubican en el estrato medio a alto.



DUP = Dimensión de la UP, Ambiental Natural/UP: AN1 a AN4; Ambiental Construida/UP: AC1 a AC4; Social/UP: S1 a S4; Política Institucional/UP: PI1 a PI4; Productiva Económica/UP: PE1 a PE4.

**Figura 3. Clasificación de la vulnerabilidad de las dimensiones de las unidades de paisaje.**

En la Tabla 4 se clasifican las características de las vulnerabilidades medias y altas calculadas en la cuenca, poniendo de manifiesto tanto su naturaleza como las posibilidades de modificación de su

condición actual. La clasificación contempla las categorías de tiempo, carácter estructural, persistencia y reversibilidad de la dimensión de la vulnerabilidad.

**Tabla 4. Características de las dimensiones de la vulnerabilidad altas y medias de las unidades de paisaje.**

DUP	Características de la vulnerabilidad									
	Modificable			No Modificable	Tipo		Duración		Reversión	
	LP	MP	CP		E	NE	P	T	R	NR
AN2	-	-	-	*	*	-	*	-	-	*
AN3	-	-	-	*	*	-	*	-	-	*
PE3	-	*	-	-	-	*	-	*	*	-
PE2	-	*	-	-	-	*	-	*	*	-
AN1	-	-	-	*	*	-	*	-	-	*
PE1	-	-	*	-	-	*	-	*	*	-
AN4	-	-	-	*	*	-	*	-	-	*
S3	*	-	-	-	-	*	-	*	*	-
S2	*	-	-	-	-	*	-	*	*	-

DUP: dimensión de la unidad de paisaje, LP: largo plazo, MP: orto plazo, CP: corto plazo, E: estructural, NE: no estructural, P: permanente, T: temporario, R: reversible, NR: no reversible

## DISCUSIÓN

El análisis de vulnerabilidad generó un gran interés desde diferentes disciplinas como un recurso para comprenderla y reducir los impactos negativos de diferentes amenazas, más, cuando enfatizan la visión holística territorial (Cardona Arboleda, 2003; Foschiatti, 2004).

Los resultados cuantitativos obtenidos en este trabajo superan las aproximaciones cualitativas y constituyen una base para la toma de decisiones sobre diferentes escalas espaciales frente a amenazas hidráulicas-hidrológicas.

La deconstrucción del territorio de la cuenca en unidades de paisaje tal como proponen Montico (2001) y Monti (2009), posibilitó la definición de áreas con diferentes respuestas ante impactos derivados de las cuestiones relacionadas con la hidrología regional.

El sistema de indicadores y su clasificación por nivel y dimensión utilizada para describir la vulnerabilidad, contribuyó a la realización de una valoración y comparación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Las unidades de paisaje de mejores aptitudes naturales y productivas (UP1 y UP4) son las menos vulnerables y representan 41.1% de la superficie total de la cuenca. Las dimensiones Ambiental Natural y la Productiva Económica son las más amenazadas, tal vez como sostienen Paz Castro Correa et al. (2008), debido a los procesos de cambio asociados a la intensificación tecnológica de la agricultura y a las reconversiones productivas. La fragmentación creciente del paisaje y la simplificación extrema de los agroecosistemas de la cuenca tornan más susceptibles a las tierras productivas (Montico y Di Leo, 2008). Además, por la estructura socio-demográfica y la elevada concentración del medio construido en las quince poblaciones insertas en la cuenca, las otras tres dimensiones resultan relativamente poco amenazadas.

El proceso de reconstrucción del territorio de la cuenca a partir de la integración ponderada de las vulnerabilidades de las cuatro UP, la ubican en una posición meridiana entre las más y las menos vulnerables ( $V_C=1.92$ ). Este abordaje multicriterio para valorar paisajes, como aseveran Jeong et al. (2013) permite llegar a evaluaciones integradoras más precisas que cuando se realizan desde un nivel escalar muy superior.

Clasificar las vulnerabilidades de las dimensiones de las UP brinda una perspectiva más precisa de la situación de la cuenca. Resulta insuficiente analizar la vulnerabilidad de los sistemas expuestos a las amenazas, siendo necesario, por lo tanto, también descifrar la estructura de la vulnerabilidad (Monti, 2009). Esto significa que para realizar modificaciones que impliquen cambios en los grados de vulnerabilidad de una dimensión, deben analizarse las causas, incluso algunas subyacentes u ocultas y sus interrelaciones.

Como sostienen Zimmermann y Riccardi (2002), Montico y Di Leo (2008), Monti (2009) y Navarro (2012) interesa conocer sus características de modo de permitir la gestión estratégica del territorio a partir del diseño de propuestas de usos del suelo acorde a sus aptitudes productivas, del ordenamiento de la expansión de las áreas urbanas y periurbanas, de la construcción de canales y reacondicionamiento de los existentes, así como de sectores de almacenamientos de excedentes y de terraplenes de defensa en los valles de inundación.

El tratamiento multifactorial del concepto de vulnerabilidad paisajística, prioriza la integración del enfoque analítico con el sistémico y aporta a su comprensión, tanto más cuanto mayor cantidad de indicadores se consideren.

## CONCLUSIONES

La sustentabilidad requiere que las dimensiones que la definen soporten las amenazas. La valoración de la vulnerabilidad lo más precisa posible otorga ventajas a los planificadores y cuanto más detalle espacial se disponga de ese atributo mejor será la gestión territorial. En la cuenca estudiada fue posible discriminar unidades paisajísticas y abordar el reconocimiento de la vulnerabilidad de la cuenca a problemáticas hídricas mediante una aproximación multidimensional. Las determinaciones alcanzadas posibilitan orientar las estrategias de intervención con mayores posibilidades de éxito.

Otros niveles espaciales pueden ser estudiados con procedimientos similares a los aquí aplicados y avanzar con menor incertidumbre hacia propuestas de apropiación territorial.

## REFERENCIAS

- Arranz González, J. C. y Alberruche del Campo, E. 2008. Minería, medio ambiente y territorio. Monografías del Master Internacional Aprovechamiento sostenible de los recursos minerales, UE/Programa Alfa II-0459-FA. Red DESIR (Desarrollo Sostenible-Ingeniería-Recursos Minerales). Coordinación: Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 96 p.
- Basile, P. A.; Riccardi, G. A. y Stenta, H. 2012. Derivación y parametrización de curvas IDR para Rosario, Casilda y Zavalla (Santa Fe, Argentina). III Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Editores: Riccardi, G. A.; Stenta H. R.; Scuderi, C. M.; Basile, P. A.; Zimmermann, E. D. 1a ed. UNR Editora. E-Book. 286 p.
- Bonel, B.; Montico, S.; Dileo, N.; J. Denoia y Vilche M. S. 2005. Análisis energético de las unidades de tierra en una cuenca rural. *Revista FAVE*, 4 (1-2):37-47.
- Cardona Arboleda, O. D. 2003. The notion of disaster risk, conceptual framework for integrated management. BID / Univ. Nac. de Colombia / Instituto de Estudios Ambientales. 37 p. Colombia.
- Foschiatti, A. M. 2004. Vulnerabilidad global y pobreza. Consideraciones conceptuales. Instituto de Geografía (IGUNNE). Facultad de Humanidades. UNNE. 20 p. Corrientes Argentina.
- Fountas, S.; Wulfsohn, D.; Blackmore, B. S.; Jacobsen H. L. y Pederson, S. M. 2006. A model of decision-making and information flows for information-intensive agriculture. *Agricultural Systems*, 87:192-210.
- Guttman Sterimberg, E.; Zorro Sánchez, C.; Cuervo de Forero, A. y Ramírez, J. C. 2004. Diseño de un sistema de indicadores socio-ambientales para el Distrito Capital de Bogotá. Estudios CEPAL, 86 p. Bogotá, Colombia.
- Horcajada Herrera, T.; Simanca Cruz, M. R. y Dorta, A. P. 2001. La constatación y validación de los mapas de riesgo de avenidas en pequeñas cuencas hidrográficas mediante sistemas de información geográfica. Propuesta metodológica y aplicación a la ordenación de territorio. Departamento de Geografía Universidad de La Laguna. Boletín de la A.G.E., 30: 135-154. España.
- Jeong, J. S.; L. García-Moruno, L. y Hernández-Blanco, J. 2013. A site planning approach for rural

- buildings into a landscape using a spatial multi-criteria decision analysis methodology. *Land and Use Policy*, 13:108-118.
- Lavell, A. 2003. La gestión local del riesgo. Nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica. CEPREDENAC/PNUD. 101 p. Panamá.
- Monti, M.E. 2009. Identificación de áreas de riesgo y vulnerabilidad para el ordenamiento sustentable del uso del paisaje en la cuenca La Salada, Santa Fe. Tesis de Maestría Manejo y Conservación de los Recursos Naturales. UNR. 183 p. Rosario, Argentina.
- Montico, S. 2001. Evaluación de tierras en un sector de cuenca rural. Aptitud hídrica de uso agronómico. *Cuadernos del CURIHAM*, 7 (1):1-7.
- Montico, S. 2009. Bioenergy production capacity in the province of Santa Fe, Argentina. *Cien. Inv. Agr.* 36(3):465-474.
- Montico, S. y Di Leo, N. 2008. Cambio de la sostenibilidad biofísica en cuencas hidrográficas: tres décadas de reemplazo de pastizales naturales por agricultura. *Cuadernos del CURIHAM*, 3; 7-12.
- Montico, S. y Pouey, N. 2001. Cuencas Rurales. Ed UNR Editora. Rosario, Argentina. 167 p.
- Muñoz-Pedrerros, A. 2004. La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77: 139-156.
- Nash, M. S., Chaloud, D. J. y Franson, S. E., 2005. Association of landscape metrics to surface water biology in the Savannah River Basin. *Journal of Mathematics and Statistics*, 1 (1), 29-34.
- Navarro, R. 2012. Explosión urbanística y planificación de drenajes en el Gran Rosario. III Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. Editores: Riccardi, G. A.; Stenta H. R.; Scuderi, C. M.; Basile, P. A.; Zimmermann, E. D. 1a ed. UNR Editora. E-Book. 286 p.
- Papadimitriou, F. 2012. Modelling landscape complexity for land use management in Rio de Janeiro, Brazil. *Land Use Policy*, 29: 855-861.
- Paz Castro Correa, C.; J. Ortiz Véliz; J. Delgado; V. Jiménez; S. Quiroga; E.; Valenzuela, M. C. y Sarmiento, J.P. 2008. Aproximación metodológica a una articulación entre gestión del riesgo, gestión ambiental y ordenamiento territorial. *Geograficando*, Vol. 4, 4:159-177.
- Sepúlveda S.; Chavarria H. y Rojas P. 2005. Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible en espacios territoriales. IICA, Costa Rica, 67 pp.
- Serra, P.; Pons, X. y Saurí, D. 2008. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors. *Appl. Geogr.* 28, 189-209.
- Veldkamp, A. y Lambin, E. F. 2001. Predicting land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85:1-6.
- Zimmermann, E. D. y Riccardi, G. A. 2002. Modelo hidrológico superficial y subterráneo para la simulación de sistemas de llanura. *Mecánica Computacional*, Vol XXI, 2395-2411.
- Zimmermann, E. D.; P.A. Basile y Riccardi, G.A. 2001. Análisis de la modificación en la respuesta hidrológica del sistema del Arroyo Ludueña provocados por cambios del uso del suelo. Seminario Internacional Sobre Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 106 p. Rosario, Argentina.

*Artículo recibido el 02/2013 y aprobado para su publicación el 03/2013.*