



## Generación de un modelo de vulnerabilidad ambiental como herramienta para el ordenamiento territorial en las nacientes de la cuenca del arroyo Cuñapirú Rivera – Uruguay

*Generation of an environmental vulnerability model as a tool for land-use planning in the headwaters of the Cuñapirú Rivera - Uruguay stream basin*

Childe Pereira, Rodrigo Luan; Achkar, Marcel; Freitas, Gabriel

 **Rodrigo Luan Childe Pereira**  
rchilde@fcien.edu.uy  
Universidad de la República , Uruguay

 **Marcel Achkar**  
achkar@fcien.edu.uy  
Universidad de la República , Uruguay

 **Gabriel Freitas**  
gfreitas@fcien.edu.uy  
Universidad de la República , Uruguay

### Pampa. Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales

Universidad Nacional del Litoral, Argentina  
ISSN: 1669-3299  
ISSN-e: 2314-0208  
Periodicidad: Semestral  
núm. 27, e0061, 2023  
revistapampa@gmail.com

Recepción: 26 Julio 2022  
Aprobación: 16 Febrero 2023

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/583/5834181008/>

DOI: <https://doi.org/10.14409/pampa.2023.27.e0061>

**Resumen:** El presente trabajo consiste en un análisis de caso de la cuenca alta de la Arroyo Cuñapirú, ubicada en el departamento de Rivera, en la zona conocida como Puntas de Cuñapirú, identificando las problemáticas ambientales y las cuestiones vinculadas a las transformaciones del territorio, en el periodo 1990-2017. Tiene como objetivo aportar elementos para la comprensión de los procesos de transformaciones territoriales en un periodo de 27 años. La aplicación de un modelo de vulnerabilidad ambiental que integra factores de fragilidad y amenaza permite identificar áreas que son particularmente sensibles a actuales y futuros impactos y facilita la identificación de interacciones críticas en el sistema ambiental, generando insumos para los tomadores de decisiones. La aplicación del modelo logró identificar en el espacio las zonas con mayor tasa de expansión urbana, la que a su vez constituye la principal amenaza y genera los mayores niveles de vulnerabilidad. También se logró reconocer cuales bienes de la naturaleza interactúan con esos cambios en el uso del suelo (fragilidad ambiental). Se espera que los resultados obtenidos colaboren a fortalecer las capacidades del ordenamiento y gestión territorial.

**Palabras clave:** cuencas hidrográficas, vulnerabilidad, amenaza, fragilidad, ordenamiento territorial.

**Abstract:** *This work consists of a case study analysis of the upper basin of the Cuñapirú stream, located in the department of Rivera, in the area known as Puntas de Cuñapirú, identifying environmental problems and issues related to territorial transformations in the period 1990-2017. It aims to provide elements for understanding the processes of territorial transformations over a period of 27 years. The application of an environmental vulnerability model that integrates fragility and threat factors makes it possible to identify areas that are particularly sensitive to current and future impacts and facilitates the identification of critical interactions in the environmental system, generating inputs for decision-makers. The application of the model was able to identify spatially the areas with the highest rate of urban expansion, which in turn constitutes the main threat and generates the highest levels of vulnerability. It was also possible to recognise which natural assets interact with these*

*changes in land use (environmental fragility). It is hoped that the results obtained will help to strengthen land-use planning and management capacities.*

**Keywords:** *hydrographic basins, vulnerability, threat, fragility, territorial planning.*

## INTRODUCCIÓN

Las transformaciones territoriales, vinculadas sobre todo con los cambios en los usos del suelo, constituyen uno de los componentes más importantes del denominado “cambio global” (VITOUSEK 1994; LAMBIN et al. 2003). En las últimas décadas se avanzó sustancialmente en la comprensión de la retroalimentación positiva que se genera entre las transformaciones territoriales con otros componentes más conocidos del cambio global, como el efecto invernadero, la pérdida de biodiversidad y la degradación de los bienes de la naturaleza (ACHKAR; M et al., 2015; BRAZEIRO, A et al. 2020). En ese sentido, Uruguay sigue el patrón regional en materia de transformación de la cobertura y uso de la tierra, caracterizado por la disminución del estado de conservación de los pastizales de las pampas, incluyendo la calidad de los suelos asociados con la evolución histórica de la ganadería y de la agricultura (ACHKAR, M 2017; GAZZANO, I et al 2020).

Considerando que el cambio ambiental global implica la intervención activa de las sociedades humanas en las transformaciones, se abre desde una mirada crítica, un espacio nuevo para analizar sus causas y al mismo tiempo generar nuevas maneras de manejarlo, en las cuales las relaciones entre la sociedad y la naturaleza se colocan en el centro del problema (BLANCO, G et al 2017). Una de las estrategias posibles que se consolida sobre fines del siglo XX para minimizar la magnitud del cambio ambiental global es la gestión integral de cuencas hidrográficas, que está directamente vinculada al Ordenamiento Ambiental del Territorio (OAT) (ACHKAR, M et al., 2000). El OAT es un proceso dinámico dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los ecosistemas en el territorio a escala nacional o local, considerando el equilibrio ecológico, la protección del ambiente y la calidad de vida de la sociedad (CHABALGOITY, M 2018).

Para potenciar los procesos de ordenamiento ambiental del territorio es necesario evaluar los diferentes niveles de vulnerabilidad sobre el territorio. El concepto de vulnerabilidad ha sido utilizado para abordar cuestiones ambientales desde distintas construcciones teóricas y metodológicas (TRAN, L et al, 2010; BERROUET, L et al, 2018). Si bien algunos autores han definido la vulnerabilidad como una propiedad emergente de sistemas expuestos a una amenaza relacionada a su predisposición de sufrir daño a partir de una perturbación, no existe un consenso sobre este concepto. En este trabajo se utiliza una conceptualización amplia de la vulnerabilidad que permite una comprensión integral del funcionamiento y las amenazas sobre los sistemas ambientales a nivel de cuencas hidrográficas (FREITAS, G et al 2019). La vulnerabilidad es considerada como una propiedad emergente de un sistema expuesto a una amenaza, que se corresponde con la predisposición a ser afectado o susceptible a sufrir un daño a partir de una perturbación o estrés (CARDONA, O 2001; TURNER, B 2003; LUERS, A 2003). El modelo operativo de vulnerabilidad se construye a partir de la integración de índices (DÍAZ, I et al 2018) que permiten incorporar las distintas dimensiones que componen la vulnerabilidad (BIRKMANN, J 2006). La aplicación del modelo de vulnerabilidad ambiental a nivel de cuencas hidrográficas (FREITAS, G 2016; CHILDE, R 2018) permite identificar áreas que son particularmente sensibles a impactos y facilita la identificación de interacciones críticas en el sistema ambiental (“natural” – humano) generando insumos para los tomadores de decisiones.

Según Pladeyra, S (2003), la zona de cabecera es donde nacen las corrientes hidrológicas, por ende se localizan en las partes más altas de la cuenca, y generalmente por su función principalmente de captación de agua presentan la mayor fragilidad hidrológica. En estas zonas el avance de la urbanización genera importantes alteraciones en la red de drenaje. Los usos urbanos y la red de transporte, intervienen y/o en ocasiones

reemplazan los cursos naturales de agua, afectando la geometría de la red de drenaje (MAY, C 1998), reduciendo sistemáticamente la densidad de la misma. Es decir, se superponen redes viales u otros espacios de características altamente impermeables en lugar de redes de drenaje natural, lo que altera seriamente el sistema hídrico en la cuenca, afectando paulatinamente la calidad del cauce (ARNOLD, J; GIBBONS, J 1996). Así también, se observan alteraciones en el trazado de las redes de drenaje, las cuales en forma natural poseen formas curvas, siendo reemplazadas por un trazado más regular y recto (Stone, 2004).

Los enfoques reduccionistas en ciencias están siendo fuertemente cuestionados por sus resultados ambientales y asociadas crecientemente a la separación entre la sociedad y la naturaleza, como expresiones territoriales del capitalismo (GAZZANO, I; ACHKAR, M 2013; ESCOBAR, A 1996 y 1999; BUDDS, J 2009 y 2004). Desde estas posiciones se afirma la independencia entre los riesgos naturales y las intervenciones humanas, especialmente cuando se refieren a las ciudades, e incluso justifican la segregación espacial característica en Latinoamérica. La vulnerabilidad ambiental constituye un elemento fundamental para comprender la transformación de las amenazas naturales en riesgos siconaturales (ROMERO, A et. al., 2009; ROMERO, H et. al 2009).

En este sentido, el concepto de vulnerabilidad ambiental de la cuenca ofrece una visión integral y alternativa a la del tradicional abordaje de evaluación de impacto ambiental (TORO, J 2012), permitiendo identificar áreas que son particularmente sensibles a futuros impactos (TRAN, L 2010), en vinculación con el carácter acumulativo de dicha característica del territorio (CEPAL, 2010). Adicionalmente, facilita la identificación de interacciones críticas en el sistema ambiental (natural – humano) mejorando la capacidad de los tomadores de decisiones (TURNER, B 2003).

Este trabajo analiza la vulnerabilidad ambiental, explorando las transformaciones territoriales producidas entre los años 1990-2017 en las nacientes del Arroyo Cuñapirú. La cabecera de la Cuenca del Arroyo Cuñapirú tiene un gran valor por estar directamente vinculada a la vida social de la ciudad de Rivera, ser parte de la zona de recarga del acuífero Guaraní, y es la principal fuente de abastecimiento de agua potable del área de estudio. La misma tiene como principal amenaza el avance de la urbanización y el conjunto de actividades antrópicas realizadas en el área. Además las nacientes de la cuenca forman parte de la reserva de biosfera “Bioma Pampa – Quebradas del Norte”, por este motivo es trascendente contar con un análisis de las transformaciones territoriales ocurridas en las últimas décadas. Esto permitirá una evaluación del estado en que se encuentra, también creará insumos para poder avanzar con el plan de ordenamiento territorial de la ciudad de Rivera y la zonificación propuesta para la reserva de biosfera.

A partir de todo lo expuesto el presente trabajo tiene por objetivos aportar elementos para la comprensión de los procesos de alteración ambiental y transformaciones territoriales en la cabecera de la cuenca del Arroyo Cuñapirú en el periodo 1990 – 2017, así como evaluar la vulnerabilidad ambiental del territorio

## METODOLOGÍA

El área de estudio es la cuenca de las nacientes del Arroyo Cuñapirú. Esta se encuentra en el extremo NW del departamento de Rivera en la zona denominada Puntas de Cuñapirú, en la cuchilla Negra a unos 15 km de la ciudad de Rivera. Cuenta con una superficie de 9.415 hectáreas (figura 1) y tiene como límites al norte y oeste la República Federativa del Brasil, al este la ciudad de Rivera y al sur la Cuchilla de Cuñapirú.

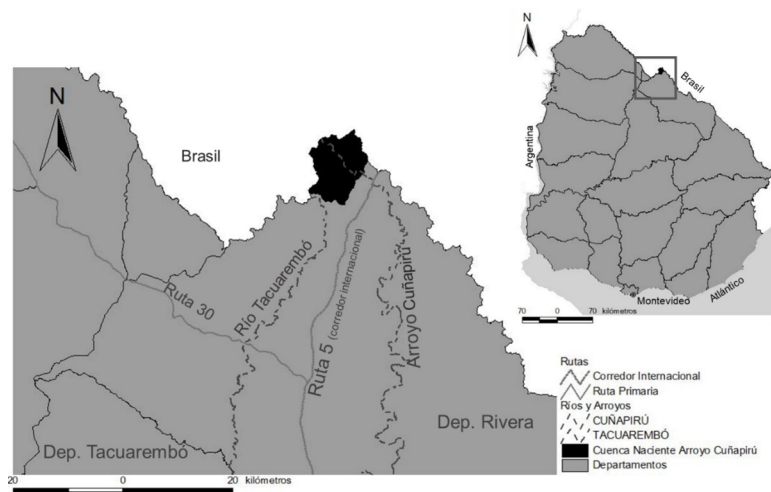


FIGURA 1.  
Ubicación de la Cuenca de la Naciente del Arroyo Cuñapirú  
Elaboración: Los autores 2022

La cabecera de la cuenca del Arroyo Cuñapirú integra dos unidades paisajísticas, las Colinas y Lomadas Sedimentarias y el Frente de Cuesta Basáltica, siendo esta última la predominante. Presenta un borde de estructura irregular con pendientes pronunciadas, con movimientos de materiales de la meteorización de areniscas y basaltos por acción de la gravedad. Debido a esto se puede decir que es una superficie inestable, presentando una evolución permanente (ACHKAR *et. al.* 2004). Se caracteriza por las sierras rocosas escarpadas con interfluvios tubulares y amplios valles, estando geológicamente asociadas a los derrames de lava basáltica. Predominan en sus partes altas (350 msnm) los suelos superficiales con afloramientos rocosos, de fertilidad natural alta y con buen drenaje. Las pendientes en las zonas escarpadas son de 12 a 24%, a veces mayores, con vegetación natural de árboles y arbustos. Las llanuras medias y altas, adyacentes a las vías de drenaje, ocasionalmente inundables, presentan vegetación de pradera estival. En los terrenos altos predominan las altiplanicies con ondulación muy ligera menor al 4%, con praderas invernales de desarrollo ralo, asociados a comunidades xerófilas en los suelos con rocosidad y la pradera invernal de tapiz denso en los suelos más profundos (CONEAT, 1994).

En la zona rural del área de estudio el uso del suelo predominante es la ganadería bovina y en menor medida ovina. Se trata de pequeños ganaderos familiares con una dotación de ganado baja con pastoreo realizado sobre campo natural. Tradicionalmente se ha realizado en la zona pequeñas producciones hortícolas de baja intensidad (zapallo, maíz, boniato) con fines de subsistencia y comercialización de excedentes, que se practican con técnicas tradicionales del laboreo en las llanuras medias y altas. También se identifican en la zona más próxima al área urbana las actividades de extracción de áridos, pequeños emprendimientos (a veces manuales) para la extracción de balastro y la extracción de suelo para la producción de ladrillos (olarías). Ambas actividades son de carácter familiar y aunque generan importante impacto a nivel local su escala es reducida, al inicio del periodo de estudio 1990 estas actividades representaban zonas con suelo descubierto que progresivamente fue ocupado por el avance urbano de la ciudad de Rivera. La población Urbana en la zona de estudio pasó de 559 en 1985 a 15130 en 2011, mientras que la población rural pasó de 614 a 789 en el mismo periodo (INE - Censos de población 1985 – 2011). El avance de la urbanización se realiza en forma irregular y precaria, posteriormente se avanza en procesos de regularización y expansión de los servicios energía, agua potable, caminería, saneamiento, etc. con un avance en la impermeabilización en la cabecera de la cuenca.

Para evaluar las transformaciones territoriales de la cuenca se integró el uso de sistemas de información geográfica, técnicas de teledetección y análisis multivariados y multitemporales, generando un modelo de

vulnerabilidad ambiental de la cuenca en estudio. Para la integración de las variables en el modelo se construyó una grilla con celdas de una hectárea, que cubre la totalidad del área de estudio.

Conceptualmente, el modelo de vulnerabilidad se construyó a partir de la integración de dos sub modelos. Estos son modelos espaciales de variables internas o estructurales (fragilidad) y externas (amenazas) presentes en el territorio siguiendo los esquemas propuestos por autores como LUERS, A 2003; VILLA, F 2002 Y FREITAS, G ET. AL, 2019.

Para la elaboración del modelo de fragilidad se definieron variables del componente biofísico. Estas fueron: Tipos de Suelo, Pendiente, Geoforma, Vegetación y Fauna. Posteriormente se asignaron valores de fragilidad según variable: (FrS), (FrP), (FrG), (FrV) y (FrF) (tabla 1).

**TABLA 1.**  
**Variables del Modelo de Fragilidad**

VARIABLE	DESCRIPCIÓN (DETALLE)	VALOR DE FRAGILIDAD
<b>Índice de Intensificación para los años 1990, 2000, 2010 y 2017</b>	<b>Agrupados en base a unidades de suelo (CONEAT, MGAP, 1994)</b>	<b>Valor: 1 (Baja), (media), 3 (alta)</b>
1.22, G 03.21	zonas planas, con pocas pendientes (altiplanicies), con zonas ocasionalmente inundables. De textura franco-arcillosa-arenosa.	Baja (1)
7.2, 7.31	suelos profundos, textura arenoso franca, bien a imperfectamente drenados y fertilidad baja.	Media (2)
1.24	suelos superficiales de basalto, con grandes pendientes, escarpas y rocosidad asociada.	Alta (3)
<b>Geoforma (convexidad) FrG</b>	<b>Obtenida del Modelo Digital de Terreno (MDT)</b>	<b>Valor: 1 (Baja), (media), 3 (alta)</b>
Planos	MDT con valores igual a 0	Baja (1)
Cóncavos	MDT con valores positivos	Media (2)
Convexos	MDT con valores negativos	Alta (3)
<b>Pendiente – FrP</b>	<b>Obtenida del Modelo Digital de Terreno</b>	<b>Valor: 1 (Baja), (media), 3 (alta)</b>
Nula	0% a 2 %	Baja (1)
leve – moderada	3% a 8%	Media (2)
Fuerte - muy fuerte	> 8%	Alta (3)
<b>Vegetación FrV</b>	<b>Según Clasificación (uso del suelo)</b>	<b>Valor: 1 (Baja), (media), 3 (alta)</b>
Leñosas	Bosque nativo (toda área con vegetación nativa)	Baja (1)
Herbáceas	Incluye campo natural y zonas herbáceo-arbustivas	Media (2)

Elaboración: Los autores 2022

Se calculó la fragilidad por unidad de territorio según la siguiente ecuación:

$$\text{Fragilidad (Fr)} = \text{FrS} \times \text{FrP} \times \text{FrG} \times \text{FrV} \times \text{FrF}$$

Para el modelo de amenazas, se consideraron las actividades antrópicas como el principal agente alterador. Para ello, se identificaron los usos de suelo en el área y su potencial impacto sobre el ambiente, tomando como base el trabajo realizado por Prados (2002). Las clases de uso de suelo fueron (en orden creciente de intensificación) Monte Nativo, Pastizales, Cultivo, Forestal; agregándole a esta clasificación el uso Urbano-Infraestructura. Se aplicó el índice para los años de 1990, 2000, 2010 y 2017. A partir de esos índices se obtuvo un valor de intensificación para los procesos ocurridos entre el 1990 y 2000, 2000 y 2010, 2010 y 2017 y para el total de los 27 años, buscando tener valores parciales del proceso y de la totalidad del período<sup>[1]</sup>(tabla 2).

**TABLA 2.**  
**VARIABLES DEL MODELO DE AMENAZAS**

VARIABLE	DESCRIPCIÓN (DETALLE)	VALOR DE AMENAZA
Índice (Ind.) de Intensificación para los años 1990, 2000, 2010 y 2017	Clasificación Prados, 2002	Valor: 1 (Baja), 2 (media-baja), 3 (media), 4 (media-alta), 5 (alta)
Monte Nativo	los usos de suelo existentes en	Baja (1)
Campo Natural	la zona y su potencial impacto	Media-Baja (2)
Herbáceo-Arbustivo	sobre el marco biofísico, se los	Media (3)
Suelo descubierto - agua (artificiales)	clasifica por el índice de intensificación. A esta	Media-Alta (4)
Urbano-Infraestructura	clasificación de Prados con un énfasis más agrícola, se le incrementa la parte de urbanización e infraestructura	Alta (5)
<b>Intensificación (Int.) entre los años 1990-2000</b>		
Es el resultado del cociente entre el valor 1 (Baja), 2 (media-baja), 3 (media), 4 (media-alta), 5 (alta), para cada celda, de los años 2000 y 1990		
<b>Intensificación (Int.) entre los años 2000-2010</b>		
Es el resultado del cociente entre el valor 1 (Baja), 2 (media-baja), 3 (media), 4 (media-alta), 5 (alta), para cada celda, de los años 2010 y 2000		
<b>Intensificación (Int.) entre los años 2010-2017</b>		
Es el resultado del cociente entre el valor 1 (Baja), 2 (media-baja), 3 (media), 4 (media-alta), 5 (alta), para cada celda, de los años 2017 y 2010		
<b>Intensificación (Int.) final entre los años 1990-2017</b>		
Es el resultado del análisis del comportamiento de cada celda en los 27 años (periodo de estudio), a partir de los valores obtenidos para 1990, 2000, 2010 y 2017		
<b>Rutas, caminos, calles y cursos de agua</b>		
Las celdas con el valor final de intensificación donde se registra la presencia de rutas, caminos vecinales y calles, se las multiplicó por 2. Dándole así un mayor valor de amenaza		

Elaboración: Los autores 2021

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Amenaza (Am)} = (i90 \times i00 \times i10 \times i17) \times i90\_00 \times i00\_10 \times i10\_17 \times i90\_17$$

Finalmente, para obtener el modelo de vulnerabilidad en cada celda, se sumaron los valores de fragilidad y amenazas en cada una, tal como se indica en la ecuación a continuación.

$$\text{Vulnerabilidad} = Fr + Am$$

La clasificación de los usos del suelo para la cuenca en estudio fue utilizada para calcular las tasas de cambio desde el año 1990 al 2017. El cambio en el uso del suelo se cuantificó a partir de la ecuación propuesta por (FAO 1996), para calcular la tasa de cambio anual (TDA). Realizando tres cortes temporales 1990-2000, 2000-2010 y 2010-2017, lo que permite identificar la dinámica temporal de los cambios en el uso del suelo.

$$\text{TDA} = (S2/S1)^{1/n} - 1$$

En dónde: TDA: tasa de cambio anual; S2 = superficie fecha 2, S1 = superficie en la fecha 1, n = es el número de años entre las dos fechas.

Con estas tasas y a través del álgebra de mapas se creó la cartografía de direccionalidad que indica la transición de una cobertura inicial a otra posterior, tomando como base el año 1990 y el año final el 2017.

Para la realización del trabajo se definió un tamaño de celda de 1 (ha) que es representativo de la superficie del área de estudio, y a la vez manejable para los volúmenes de información procesada. En este sentido, la unidad de análisis fueron las celdas y estuvo conformada por una grilla de 9.151 celdas. Esta herramienta permitió el cruzamiento de información de fuentes variadas para la construcción de cada modelo y para el modelo final de vulnerabilidad ambiental. Las variables no se ponderaron previamente, sino que el peso específico de cada una de ellas en la variabilidad del modelo se explicó a través del Análisis de Componentes Principales.

## RESULTADOS

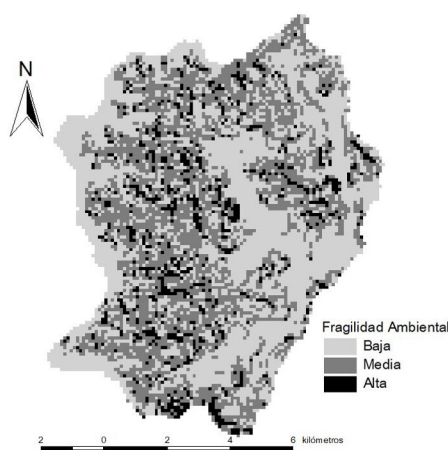
En cuanto al porcentaje de TDA se puede observar un cambio significativo de 4.69% para la categoría Urbano-Infraestructura que avanza sobre el suelo descubierto, siendo la que más incrementó dentro del periodo 1990-2017, con un notorio aumento dentro del periodo comprendido entre los años 2010-2017. Por otro lado la categoría que más disminuyó fue la de Suelo Descubierta con un 9% aproximadamente (tabla 3).

**TABLA 3.**  
Superficie de TDA en % según categorías de usos del suelo para los años 1990, 2000, 2010 y 2017.

<b>Tasa de cambio anual (TDA) de los usos de la Cabecera de la Cuenca del Cuñapirú</b>				
	<b>TDA</b>	<b>TDA</b>	<b>TDA</b>	<b>TDA</b>
<b>Usos</b>	<b>1990-2000</b>	<b>2000-2010</b>	<b>2010-2017</b>	<b>1990-2017</b>
<b>Agua</b>	1.54%	0.81%	-2.97%	<b>0.13%</b>
<b>Campo Natural</b>	-0.10%	1.25%	2.64%	<b>1.76%</b>
<b>Herbáceo-Arbustiva</b>	-2.36%	0.25%	-4.08%	<b>-2.93%</b>
<b>Monte Nativo</b>	3.13%	-1.41%	-0.02%	<b>0.97%</b>
<b>Urbano-Infraestructura</b>	2.14%	1.78%	5.76%	<b>4.69%</b>
<b>Suelo Descubierta</b>	-11.37%	2.65%	-9.54%	<b>-9.23%</b>

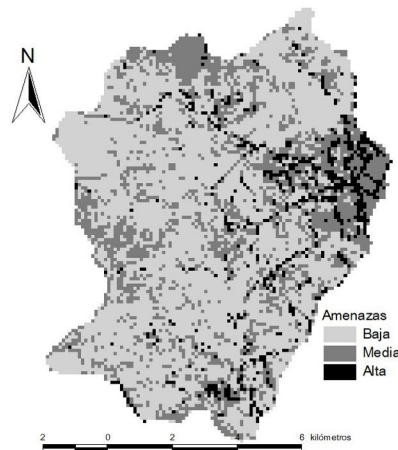
Elaboración: Los autores 2021

De la aplicación del modelo en la naciente de la cuenca del Arroyo Cuñapirú en la ciudad de Rivera, se obtuvieron los siguientes resultados. El 51% de la cuenca analizada presentó una fragilidad ambiental baja, el otro 49 % de la cuenca presentó una fragilidad ambiental media (39%) y alta (10%) (figura 2).



**FIGURA 2.**  
Sub Modelo de Fragilidad Ambiental  
Elaboración: Los autores 2022

En cuanto al sub modelo de amenaza, se observa para la cuenca estudiada un 66% de amenaza baja y los restantes 34% con amenaza media (25%) y alta (9%) (figura 3).



**FIGURA 3.**  
**Sub Modelo de Amenazas**  
 Fuente: Los autores 2022

A partir de la información analizada de la fragilidad ambiental y las amenazas de la cuenca se construye el modelo de vulnerabilidad ambiental para la cabecera de la cuenca del Arroyo Cuñapirú. Se observa que las zonas de mayor vulnerabilidad ambiental están asociadas al avance de la urbanización y de la infraestructura que se procesa en la cuenca, además de parches de vulnerabilidad alta en las zonas asociadas a las quebradas y el monte nativo (tabla 4, figura 4).

**TABLA 4.**  
 Vulnerabilidad Ambiental en superficie en (ha) y % de ocupación de la Cabecera de la Cuenca del Arroyo Cuñapirú.

<b>Vulnerabilidad Ambiental de la Cabecera de la Cuenca del Arroyo Cuñapirú</b>		
<b>Vulnerabilidad</b>	<b>Superficie en (ha)</b>	<b>% (sobre el total de la cuenca)</b>
<b>Baja</b>	1776	20
<b>Media-Baja</b>	2584	28
<b>Media</b>	3787	41
<b>Media-Alta</b>	1004	11
<b>Total</b>	<b>9151</b>	<b>100</b>

Elaboración: Los autores 2022



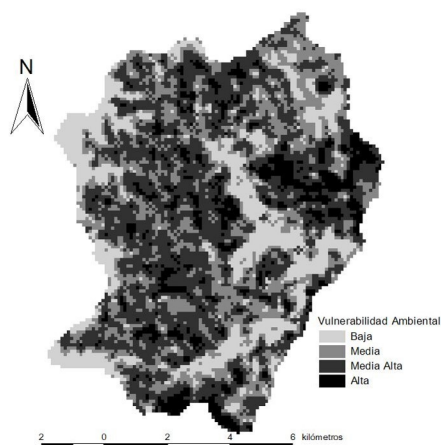


FIGURA 4.  
Modelo de Vulnerabilidad Ambiental  
Elaboración: Los autores 2022

Previo a realizar el Análisis de Componentes Principales (ACP) de la matriz resultante, se evalúa su viabilidad mediante la adecuación muestral de Kaiser – Meyer – Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett, como medidas de adecuación muestral. Tanto la prueba de KMO como la prueba de esfericidad de Bartlett indicaron la pertinencia y adecuación de la matriz ingresada para el ACP, dando como resultado un KMO de 0.674 y Bartlett de 65382.271 con significancia 0.000.

En un primer análisis de la matriz de Análisis de Componentes Principales (ACP) obtenida para el modelo, se identificaron algunas variables que claramente no estaban operando en la variabilidad espacial de la vulnerabilidad en la cuenca. En particular las variables “Geoforma (convexidad)”, “Caminería”, “Índice 1990”, “Índice 2000”, “Curso de Agua” y otras que tuvieron muy poca relevancia en la explicación del modelo, por lo que se procedió a rehacer los cálculos sin integrarlas. Finalmente las variables utilizadas fueron: fragilidad de anfibios, fragilidad de mamíferos, fragilidad de aves, fragilidad de reptiles, fragilidad de vegetación, Índice 2017, intensificación 2010-2017, intensificación final (1990-2017), amenaza total y vulnerabilidad. Los dos primeros factores del ACP explican el 63,7% de la variación del modelo, donde el componente 1 explica el 38.9% y el componente 2 el 24.8% de la variabilidad del sistema. Graficados en la figura 5 con componentes rotados, en el cual se observa notoriamente el agrupamiento de las variables que integran el modelo.

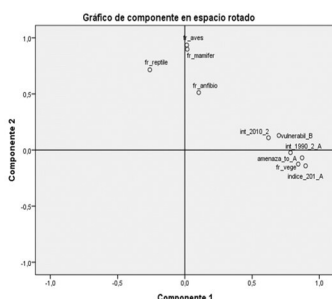


FIGURA 5.  
Gráfico de Componentes Rotados  
Elaboración: Los autores 2022

En el gráfico de componentes en espacio rotado se observa la agrupación de las variables de amenazas por un lado, vinculadas al componente 1, y las de fragilidad por el otro, vinculadas al componente 2, formando dos grupos de variables claramente diferenciados.

TABLA 5.  
Matriz de Componentes Rotados

Matriz de Componentes Rotados		
Variable	Componente	
	1 (Amenaza)	2 (Fragilidad)
Fragilidad de Vegetación	0.843	-0.125
Índice 2017	0.898	-0.141
Intensificación 2010-2017	0.622	-0.110
Intensificación Final 1990-2017	0.785	-0.023
Amenaza Total	0.872	-0.069
Vulnerabilidad Ambiental	0.699	0.130
Fragilidad de Anfibios	0.103	0.513
Fragilidad de Aves	0.015	0.936
Fragilidad de Mamíferos	0.018	0.899
Fragilidad de Reptiles	-0.260	0.715
Método de Extracción: Análisis de componentes principales.		
Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser		

Elaboración: Los autores 2022

La “Matriz de componentes rotados” indica el peso relativo de cada variable en el modelo; la línea azul indica la diferenciación en la agrupación de la importancia de las variables en el componente 1 amenazas y en el componente 2 fragilidad (tabla 5).

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se observó para la cuenca que hubo transformaciones territoriales en ese periodo, en lo que tiene que ver con los usos del suelo. Las transformaciones más importantes refieren a la disminución de la superficie de suelo descubierto y herbáceo arbustivo, indicando una disminución de la actividad agropecuaria en la cuenca alta del Cuñapirú dedicados a la ganadería y a la horticultura, producción tradicional practicada por pequeños productores familiares (comunicación personal con informantes calificados del área). Por otra parte se registra un avance y crecimiento importante de la urbanización y la infraestructura, como proceso de expansión de la ciudad de Rivera hacia el noroeste. Procesos que en el periodo son interdependientes crecimiento de la ciudad y disminución de la actividad agropecuaria de pequeña escala.

El análisis de los cambios en el uso del suelo, permiten sostener que la expansión urbana en esa zona se encuentra en pleno desarrollo, el proceso de expansión ha reemplazado y reemplazará progresivamente territorios ocupados anteriormente por actividades productivas con coberturas vegetales naturales o seminaturales, generando así el continuo aumento de superficies que limitan la infiltración de las aguas pluviales. Las tendencias del TDA indican la dinámica temporal de expansión urbana, con la aceleración del proceso en el periodo 2010-2017, y por tanto el aumento progresivo en la vulnerabilidad del área.

En general las zonas con mayores niveles de amenazas se encuentran asociadas al avance de la urbanización y de la infraestructura mientras que el monte nativo y parte del campo natural ocupa la zona de fragilidad baja. Por otro lado la caminería y el uso herbáceo-arbustivos ocupan las zonas intermedias de fragilidad.

El modelo de vulnerabilidad ambiental permitió identificar y articular en el territorio las variables amenazas y fragilidad. En este caso además de la intensificación de los usos en general permitió la vinculación de otras variables de “amenazas” como son el avance de la urbanización y la infraestructura además de algunas actividades extractivas existentes en la zona como son las canteras y en pequeña escala las “olarías” familiares. El resultado de este modelo permite visualizar el impacto acumulativo de las diferentes amenazas en el territorio y como inciden en la fragilidad interna del mismo.

El área de estudio se presentó como un escenario complejo que integra en su matriz de vulnerabilidad ambiental al rápido avance de la urbanización en la zona y el implemento de la infraestructura en la misma.

Además esta zona tiene una fragilidad ambiental natural vinculadas a las fuertes pendientes y a las escarpas basálticas. Con la metodología empleada se logró identificar, cuantificar y presentar la distribución espacial de la variabilidad de la vulnerabilidad del ambiente de la cuenca alta del Arroyo Cuñapirú.

La construcción de un modelo de amenazas permitió delimitar y cuantificar la distribución espacial de las amenazas. La integración de los modelos de fragilidad y amenazas permitió identificar y cuantificar la variación de la vulnerabilidad de la cuenca. A partir de esto se pudo identificar que la amenaza en lo que tiene que ver con el avance de la urbanización e infraestructura tiene un fuerte peso en la vulnerabilidad ambiental final de la cuenca. A su vez este modelo permitió realizar un análisis por separado de los 2 principales componentes (fragilidad y amenazas).

En el modelo de fragilidad se muestra que los valores más altos de fragilidad están vinculados a las zonas de quebradas asociados con el monte nativo. Esto podría indicar su vinculación a los valores más altos que están asociados a las zonas con escarpas basálticas y fuertes pendientes. Pero esto se refleja por el peso de la variable riquezas de especies “fauna” que se obtuvo del análisis de componentes principales.

Por otro lado, el suelo urbano es un bien que es manejado por el mercado inmobiliario, donde sectores empresariales especulan con el avance de las ciudades sobre terrenos rurales. Por este motivo el Estado cumple aquí un rol regulador importante a través del ordenamiento y gestión del territorio. El plan de ordenamiento territorial (POT) de la ciudad de Rivera a través de la zonificación busca establecer criterios que racionalicen los avances de urbanizaciones en el territorio. A partir de la aplicación del modelo se pudo detectar que en algunas de las zonas especiales del POT, que están correctamente definidas en su función de barreras al avance de la urbanización, se detecta la expansión del territorio urbanizado operando como una de las principales amenazas en la cuenca.

Con respecto a los aspectos ambientales, estos avances de la infraestructura, principalmente el mejoramiento vial a través del asfaltado de calles y el relleno de zonas bajas para generar nuevas edificaciones viales y habitacionales, pueden generar a futuro alteraciones en las vías de drenaje y los cursos de agua. Esto, posiblemente generaría zonas más impermeables que dificultan las vías de drenajes causando posibles inundaciones en las planicies que se ubican aguas abajo.

La metodología empleada permitió, por una parte evaluar la distribución espacial de la vulnerabilidad, identificando los elementos (y su importancia relativa) que componen la vulnerabilidad discriminados en factores de fragilidad y amenaza. Además de vincular estos resultados con la tasa de cambio de uso del suelo, tanto en el tiempo como en el espacio. Por otra parte se identifica que la vulnerabilidad de la cuenca alta del Arroyo Cuñapirú se vincula más a las amenazas dadas por la expansión urbana que por la fragilidad del sistema ambiental.

En el espacio de la cuenca alta del Arroyo Cuñapirú existen distintos territorios que interactúan, generando sinergias, fragmentaciones, donde los diferentes usos del suelo parecen no responder a los lineamientos de ordenamiento presentando las características típicas y contradictorias de las zonas de interface urbano-rural.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHKAR, M (2017) El bioma pampa: un territorio en disputa. En: Olhares sobre o pampa: um território em disputa. Flores, C. Foletto, M. (Organizadoras). Porto Alegre. Editorial: Evangraf. pp. 125-139.
- ACHKAR, M; ANIDO, C (2000). Agua, Diagnóstico y propuesta hacia una gestión más sustentable. En Uruguay Sustentable. Una propuesta ciudadana. Redes-AT. Montevideo. 401-449.
- ACHKAR, M; CAYSSIALS, R; DOMÍNGUEZ, A; PESCE, F (2004) Hacia un Uruguay Sustentable, Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas; Redes Amigos de la Tierra.
- ACHKAR, M; DOMÍNGUEZ, A; GUERRERO, J (2015) El ordenamiento ambiental del territorio; desafíos para Uruguay. [www.fcien.edu.uy/files/25\\_años\\_Facultad\\_de\\_Ciencias.pdf](http://www.fcien.edu.uy/files/25_años_Facultad_de_Ciencias.pdf).

- ARNOLD, J; GIBBONS, J (1996). Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. Elsevier, *Journal of the American Planning Association* N°62. 241-258.
- ARREOLA MUÑOZ, A. (s/f) El Manejo integral de cuencas: limitaciones de una política sectorial para la gestión territorial del agua. Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica, A.C. (IDESMAC).
- BERROUET, L. M; MACHADO, J; VILLEGAS-PALACIO, C (2017). Vulnerability of socio—ecological systems: A conceptual Framework. *Ecological Indicators*, 632–647. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.051>
- BIRKMAN, J; WISNER, B (2006). “Measuring the Un – Measurable, The Challenge of Vulnerability”, *Studies of the University: Research, Consel, Education; Publication Series of UNU-FHS/N°5*.
- BLANCO- WELLS, G; GÜNTHER, G; GUTIÉRREZ, R; GONZAGA, J (2017). Introducción. Cambio ambiental global y políticas ambientales en América Latina. En: *La política del ambiente en América Latina, una aproximación desde el cambio ambiental global*, editado por Griselda Günther y Ricardo A. Gutiérrez. México: CLACSO y Universidad Autónoma Metropolitana, p. 15-36.
- BRAZEIRO, A; ACHKAR, M; TORANZA, C; BARTESAGHI, L (2020). Agricultural expansion in Uruguayan grasslands and priority areas for vertebrate and woody plant conservation. *Ecology and Society. The Resilience Alliance*. V 25, IS 1, DOI 10.5751/ES-11360-250115. <https://www.ecologyandsociety.org/vol25/iss1/art15/>
- BUDDS, J (2004). Power, Nature and Neoliberalism. The political ecology of water in Chile. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 25 (3), 332-342.
- BUDDS, J (2009). Contested H2O: Science, policy and politics in water management in Chile. *Geoforum* 40, 418-430.
- CARDONA, O (2001). “La Necesidad de Repensar de Manera Holística los Conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo”, *Work Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice; Holanda*.
- CHABALGOITY, M (2018). La ordenación del territorio como política pública, las áreas rurales de Montevideo en el contexto nacional. Montevideo: Ediciones Universitarias, UCUR.
- CHILDE PEREIRA, R (2018). Análisis Multitemporal (1990-2017) de las Transformaciones Territoriales de la Cabecera de la Cuenca del Arroyo Cuñapirú. Tesis de Grado de la Licenciatura en Recursos Naturales; Facultad de Ciencias; Universidad de la República. Uruguay.
- CONEAT, MGAP, 1994 Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra. Índices de productividad. Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra, Ministerio de Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
- DÍAZ, I; ACHKAR, M; MAZZEO, N (2018). Drought vulnerability assessment of cattle producers in the Sierras del Este-Uruguay: Interactions between actors and agents. *Outlook on Agriculture*, 47(4), 315–325. <https://doi.org/10.1177/0030727018808807>
- Ecology. Futures*, Vol.28,N°4, 325-343.
- ERIC F. LAMBIN, HELMUT J. GEIST, ERIKA (2003). Lepers Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. *Annual Review of Environment and Resources* 28:1, 205-241. <https://www.annualreviews.org/doi/full/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- ESCOBAR, A (1996). *Construction Nature. Elements for a post-structuralist Political*.
- ESCOBAR, A (1999). *After Nature. Steps for an Antiessentialist Political Ecology*. *Current Antropology*, Vol.40, N°1: 1-30.
- FAO. *Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes*. Number 130, Roma Italia, 1996.
- FREITAS, G (2016). Índice de Vulnerabilidad Ambiental para Cuencas Hidrográficas Aplicación en Ambiente SIG. Tesis de Grado de la Licenciatura en Recursos Naturales; Facultad de Ciencias; Universidad de la República. Uruguay.
- FREITAS, G; DÍAZ, I; BESSONART, M; DA COSTA, E; ACHKAR, M (2019). An ecosystem-based composite spatial model for floodplain vulnerability assessment: a case study of Artigas, Uruguay. *GeoJournal* pp 1–17 Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10120-3>

- GAZZANO, I; ACHKAR, M (2013). LA NECESIDAD DE REDEFINIR AMBIENTE EN EL DEBATE CIENTIFICO ACTUAL. *Gestión y Ambiente*, Colombia; V°16 N° 3 p: 7-14. ISSN: 0124177x.
- GAZZANO, I; ACHKAR, M; DÍAZ, I (2019). Agricultural Transformations in the Southern Cone of Latin America: Agricultural Intensification and Decrease of the Aboveground Net Primary Production, Uruguay's Case. *Sustainability*, Volume 11, Issue 24, 7011.
- INE. Instituto Nacional de Estadística. (2021). Marcos Censales de los años 1985, 2011. <http://www.ine.gub.uy/web/guest/marcos-censales>
- LUERS, A. L (2003). The surface of vulnerability: An analytical framework for examining environmental change. *Global Environmental Change*, 15(3), 214–223.
- MAY, C; HORNER, R; KARR, J; MAR, B; WELCH, E (1998). Effects of urbanization on small streams in the Puget sound ecoreion. *Watershed protection techniques*, University of Washington, Seattle, Washington.
- PLADEYRA, S (2003). Paisajes hidrológicos y balance hídrico de la cuenca Lerma Chapala, México.
- PRADOS, M (2002). Metodología para la identificación y el análisis de procesos de intensificación agrícola mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica e imágenes de satélite. Caso práctico en la cuenca del Guadiamar (proyecto SITCOVER). X Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (10°).
- ROMERO, A.H; ROMERO, T.H; TOLEDO, X (2009). Agua, poder y discursos en el conflicto socio-territorial por la construcción de represas hidroeléctricas en la Patagonia Chilena. *Anuario de Estudios Americanos*, Madrid, España.
- ROMERO, H; MOSCOSO, C; SMITH, P (2009). Lecciones y conclusiones sobre la falta de sustentabilidad ambiental del crecimiento espacial de las ciudades chilenas. En “Chile:del país urbano al país metropolitano”, Hidalgo, R., De Mattos, C., Arenas, F. (Editores). 89- 110p.
- Serie GEOLibros N°12 Colección EURE-Libros. Instituto de Geografía e Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales, Pontificia Universidad Católica de Chile pp.89-110.
- STONE, B (2004). Paving over paradise: how land use regulations promote residential imperviousness. *Elsevier, Landscape and urban planning* N° 69, p.101-113.
- TORO, J; DUARTE, O; REQUENA, I; ZAMORANO, M (2012). Determining Vulnerability Importance in Environmental Impact Assessment. The Case of Colombia. *Environmental Impact Assessment Review*. Vol 32, pp. 107– 117.
- TRAN, L; O'NEILL, R; SMITH, E (2010). Spatial Pattern of Environmental Vulnerability in the Mid-Atlantic Region, USA. *Applied Geography*, Vol 30. pp 191 – 202. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.05.003>
- TURNER, B; KASPERSON, R; MATSON, P; ET AL (2003). A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. *Proceedings of the National Academy on Science*. Vol 100, N° 14. pp 8074-8079.
- VILLA, F (2002). Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications; *Environmental Management* Vol. 29, N° Vitousek, P. M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75:1861-1876. <https://doi.org/10.2307/1941591>

## NOTAS

- [1] i90 = Valor de índice de amenaza para el año 1990 para cada celda. i00 = Valor de índice de amenaza para el año 2000 para cada celda. i10 = Valor de índice de amenaza para el año 2010. i17 = Valor de índice de amenaza para el año 2017