



Universidad de la República
Facultad de Ciencias - Centro Universitario de Rivera
Informe de Tesina de Licenciatura en Recursos Naturales

Índice de Vulnerabilidad Ambiental para Cuencas Hidrográficas

Aplicación en Ambiente SIG

Autor: Téc. Gabriel Freitas
Docente Orientador: Dr. Marcel Achkar

Rivera - 2016

Índice

1. Resumen	6
2. Introducción y Marco Teórico	8
2.1. La Gestión de los Recursos Naturales.....	8
2.2. Gestión de Cuencas Hidrográficas	9
2.3. Vulnerabilidad - Vulnerabilidad Ambiental	10
2.3.1. Fragilidad Ambiental.....	13
2.3.2. Amenazas Ambientales.....	13
2.4. Sistemas de Información Geográfica	14
3. Justificación	15
4. Pregunta a Responder.....	17
5. Objetivo General.....	17
6. Objetivos Específicos.....	17
7. Metodología.....	17
7.1. Área de Estudio.....	17
7.2. Esquema Conceptual del Modelo. Variables.....	22
7.2.1. Sistematización de la Información	22
7.2.2. Elaboración de Mapa de Fragilidad Ambiental	24
7.2.3. Mapa de Amenazas.....	27
7.2.4. Elaboración del Modelo de Vulnerabilidad	28
7.3. Análisis estadístico. Evaluación del modelo	29
8. Resultados.....	30
8.1. Propuesta de Modelo de Vulnerabilidad	30
8.2. Aplicación del Modelo de Vulnerabilidad Ambiental	30
8.2.1. Mapa de Fragilidad.....	30
8.2.2. Mapa de Amenazas.....	36
8.2.3. Modelo de Vulnerabilidad	42
8.3. Análisis Estadístico de los Resultados	43
8.4. Análisis de Componentes Principales	44
9. Conclusiones y Discusión	47
9.1. Recomendaciones.....	51
10. Bibliografía.....	53
11. Anexos.....	56
11.1. Vulnerabilidad Ambiental en el “Paisaje Protegido Valle del Lunarejo”.....	56

Índice de Tablas

Tabla N° 1: Tabla de variables, clases y valor de fragilidad.....	26
Tabla N° 2: Tabla de variables y detalle sobre amenaza	28
Tabla N° 3: Superficie y porcentaje sobre el total del área de la fragilidad ambiental.....	36
Tabla N° 4: Superficie y porcentaje sobre el total del área de la amenaza	42
Tabla N° 5: Superficie y porcentaje sobre el total del área de la vulnerabilidad ambiental.....	43
Tabla N° 6: Resumen del índice de Moran	44
Tabla N° 7: Valores de pruebas de KMO y Bartlett.....	45
Tabla N° 8: Tabla de varianza total explicada	45
Tabla N° 9: Matriz de componente rotado.....	47

Índice de Imágenes

Imagen N° 1: Fotografía del Arroyo Lunarejo, foto desde el valle.	24
Imagen N° 2: Fotografía de cultivos forestales de pinos... ..	25

Índice de Figuras

Figura N°1: Esferas clave sobre el concepto de Vulnerabilidad	11
Figura N°2: Múltiples dimensiones en los Sistemas de Información Geográfica.....	15
Figura N° 3: Ubicación de la cuenca del Arroyo Lunarejo en Uruguay.....	18
Figura N° 4: Ubicación de la cuenca del Arroyo Lunarejo en el Departamento de Rivera.....	19
Figura N° 5: Área de la cuenca del Arroyo Lunarejo con hidrografía, curvas de nivel y rutas.	20
Figura N° 6: Fotografía del Arroyo Lunarejo, foto desde el valle. Gabriel Freitas 2016	21
Figura N° 7: Fotografía de cultivos forestales de pinos. Gabriel Freitas 2016 ...	22
Figura N° 8: Esquema conceptual del modelo de vulnerabilidad.	23
Figura N°9: Fragilidad de Suelos en la cuenca del Arroyo Lunarejo.....	31
Figura N°10: Fragilidad de Vegetación en la cuenca del Arroyo Lunarejo.....	32
Figura N°11: Fragilidad de Pendientes en la cuenca del Arroyo Lunarejo.....	33

Figura N°12: Fragilidad de Fauna en la cuenca del Arroyo Lunarejo.....	34
Figura N°13: Fragilidad de Geoforma en la cuenca del Arroyo Lunarejo.....	35
Figura N°14: Mapa de Fragilidad Ambiental en la cuenca del Arroyo Lunarejo	36
Figura N°15: Índice de Amenazas para el año 1995 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.	37
Figura N°16: Índice de Amenazas para el año 2005 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.	38
Figura N°17: Índice de amenazas para el año 2015 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.	39
Figura N°18: Intensificación agraria entre los años 1995 y 2005 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.....	40
Figura N°19: Intensificación agraria entre los años 2005 y 2015 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.....	40
Figura N°20: Intensificación agraria entre los años 1995 y 2015 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.....	41
Figura N°21: Mapa de amenazas para la cuenca del Arroyo Lunarejo.	42
Figura N°22: Modelo de Vulnerabilidad Ambiental para la cuenca del Arroyo Lunarejo.	43
Figura N°23: Gráfica sobre índice de auto correlación espacial	44
Figura N°24: Gráfico de componentes en espacio rotado.....	46
Figura N° 25: Modelo de Vulnerabilidad Ambiental para el Paisaje Protegido “Valle del Lunarejo”.....	57

Agradecimientos

A Marcel Achkar, por los aportes permanentes, el apoyo constante, por su tiempo y disposición.

A los coordinadores de la carrera, Martin Bessonart, Raúl Maneyro, Marcel Achkar, María Salhi y a todos los docentes que desde hace años recorren kilómetros, contribuyendo a consolidar la presencia universitaria en el Noreste lejano, y las vidas que ello ha cambiado.

A Mario Clara por los intercambios de idea y apoyos desde el Centro Universitario de Rivera. Por las gestiones además para presentar resultados derivados del presente trabajo en el Encuentro Anual de la Sociedad de Ecología para Alemania, Austria y Suiza (Marburg, Alemania. 2016).

A karolain Mello, por las correcciones y las ideas. Por estar....

A “los viejos” (Mirtha y Cheby), por empujarme hasta acá; a Mili, por ser mi faro.

1. Resumen

Debido a su importancia como operador sistémico en el territorio, las cuencas hidrográficas han cobrado relevancia como posible unidad de gestión integral del mismo. Sin embargo, la aplicación real de estas medidas requiere de un profundo conocimiento del funcionamiento de estas cuencas, con una visión que integre sus distintas dimensiones, desde la biofísica hasta la social.

En este sentido, el concepto de vulnerabilidad ambiental, entendiendo a la vulnerabilidad como una propiedad emergente de los sistemas a partir de la relación entre factores internos y externos, ofrece un abordaje que integra esas múltiples dimensiones, por lo que se viene utilizando cada vez con mayor frecuencia como herramienta para comprender situaciones de problemática ambiental o inclusive como alternativa a los métodos tradicionales de evaluación de impacto ambiental. Este abordaje permite identificar áreas que son particularmente sensibles a actuales y futuros impactos y facilita la identificación de interacciones críticas en el sistema ambiental (“natural” – humano) mejorando la capacidad de los tomadores de decisiones.

En este marco general, el presente trabajo se propuso integrar ambos conceptos con el objetivo de elaborar y aplicar una metodología para modelar la vulnerabilidad ambiental a nivel de cuencas hidrográficas, mediante la utilización de un sistema de información geográfica. La aplicación del modelo propuesto se realizó en la cuenca del Arroyo Lunarejo en el departamento de Rivera.

En este sentido, el esquema conceptual propuesto partió de definiciones de vulnerabilidad que integran componentes internos del sistema, a los que se llamaron “Fragilidad” y externos al mismo, a los que se llamaron “Amenazas”. Se definieron entonces las variables que describían o caracterizaban cada uno de estos componentes y a partir de la interacción entre ellos, se llegó a un modelo de Vulnerabilidad Ambiental para la zona mencionada.

La aplicación del mismo permitió conocer el patrón espacial de la variación para los componentes Fragilidad y Amenazas, haciendo emerger la Vulnerabilidad en la cuenca elegida. El análisis de auto correlación espacial indicó el agrupamiento en clusters de la información sistematizada. Por otro lado, el Análisis de Componentes Principales indicó un mayor peso del componente “Fragilidad” para explicar la variación del modelo.

Se espera que los resultados obtenidos, en particular sobre la metodología propuesta, colaboren a fortalecer las capacidades en cuanto a la gestión del territorio, en particular de cuencas hidrográficas, gracias al detallado conocimiento de distintas variables tanto ambientales como antrópicas que permite.

2. Introducción y Marco Teórico

2.1. La Gestión de los Recursos Naturales

Según Gudynas (1999) *“en América Latina como en otras regiones, se está viviendo una creciente preocupación por la temática ambiental”*.

El modelo de desarrollo vigente a escala mundial, basado a grandes rasgos en la acumulación de capital, ha generado impactos a nivel social y ambiental. Esta visión del uso de los bienes ambientales ha generado a lo largo de los años, situaciones de degradación y desigualdad en el acceso a los mismos, profundizando situaciones de tensión social y ambiental. En este sentido, Reboratti (2000) indica que *“si sumamos por una parte el uso de los recursos naturales y por otra la contaminación que ese uso y todas las otras actividades del hombre generan, llegaremos al concepto de lo que generalmente se conoce como degradación del ambiente, o sea la suma de acciones humanas que de una u otra manera afectan el ambiente en que el hombre vive”*.

Si bien la población del Uruguay se ha mantenido estable al menos en el último siglo, la expansión de la frontera agrícola en su territorio supone algunos desafíos para la gestión y conservación de los recursos naturales a partir de la intensificación de su uso.

Este proceso de intensificación que se ha dado en el continente y a nivel nacional, se expresa esencialmente a través del aumento en las superficies cultivadas y del rendimiento por superficie de producción (Redes, 2013). El escenario de cambios en el uso de los suelos, donde a nivel nacional se pasa de la tradicional rotación entre cultivos de invierno y pasturas a un ciclo continuo de producción, plantea nuevos desafíos para la gestión de los recursos naturales.

Sin embargo, tradicionalmente los recursos naturales se han gestionado (en nuestro país, desde el Estado) de forma fragmentada en cuanto a sus interrelaciones y a su abordaje institucional, además, con criterios de límites políticos. Todo ello desconociendo o dejando de lado los estrechos vínculos y ciclos del sistema ambiental.

En contrapartida, un hito importante en la legislación nacional ha sido la aprobación del marco legal (Ley 18610 del año 2009) que define a la cuenca hidrográfica como unidad de gestión del territorio, dada su importancia como operador sistémico y la visión integral que aporta a la gestión de los recursos hídricos.

2.2. Gestión de Cuencas Hidrográficas

La definición hidrológica de una cuenca hidrográfica no es novedosa. Esta consiste esencialmente en una porción del territorio que drena el agua superficialmente hacia un curso principal y está delimitada por las partes altas del territorio o divisorias de agua. Al respecto, Achkar (*et. al.*; 2004) define que, “*una cuenca hidrográfica se define como el territorio que ocupa el río principal y sus afluentes, cuyos límites son definidos por la topografía del terreno a partir de las divisorias de aguas (denominadas cuchillas en nuestro país)*”.

La utilización de las cuencas como unidad de gestión en América Latina y el Caribe tampoco es novedosa y se remonta a la década del 30 (Dourejeanni, 2000). Sin embargo, más recientemente y a la luz de nuevos enfoques o paradigmas sobre el desarrollo tales como el desarrollo sustentable y la gestión ambiental del territorio, la cuenca hidrográfica adopta un rol central como unidad de gestión del mismo en su sentido más amplio, integrando a los subsistemas biofísicos y sociales.

Esta herramienta busca generar alternativas a los conceptos tradicionales en la gestión de los recursos naturales con visiones sectoriales, utilitaristas y atemporales de los mismos. La cuenca hidrográfica consiste en un operador sistémico natural, una unidad territorial definida con criterio fisiográfico y con algunas características que la hacen pertinente como tal.

En este sentido y nuevamente según (Achkar *et. al.*; 2004) complementa otras definiciones al indicar que “*teniendo presente que la cuenca hidrográfica es una unidad sistémica, se puede entender que todo proceso que esté afectando la estructura y la funcionalidad de esa unidad, estará teniendo consecuencias positivas o negativas sobre ese operador sistémico. Este marco conceptual permite valorar la importancia de los recursos naturales en el marco de las cuencas hidrográficas*”. Según el mismo autor su importancia como operador sistémico o unidad territorial radica, entre otros factores, en el hecho de ser un sistema natural, de poseer límites naturales bien definidos y el hecho de ser un sistema abierto, por lo que sus ciclos de materia y energía son susceptibles a cambios en el mismo, “*por lo tanto toda vez que se induzcan cambios cualitativos o cuantitativos sobre alguno de esos componentes se producirán también cambios positivos o negativos sobre el conjunto del sistema*” (Achkar *et. al.*; 2004). Indica además que es necesario evitar, en las cuencas, toda

situación ambiental negativa, sean como consecuencia de urbanizaciones o como cambios en el uso del suelo en el medio rural.

Por otro lado, Uruguay fue el primer país latinoamericano en declarar en su Constitución el acceso al agua potable y el saneamiento como un derecho humano fundamental, mediante la reforma del artículo 47 con el plebiscito de octubre de 2004. El 98% de la población nacional tiene acceso a este recurso (según datos manejados por OSE). En este sentido, la Política Nacional de Aguas (Ley 18610 del año 2009) reconoce en el literal E de su artículo 8 a “*la cuenca hidrográfica como unidad de actuación para la planificación, control y gestión de los recursos hídricos, en las políticas de descentralización, ordenamiento territorial y desarrollo sustentable*”. A partir de ella además, se establece la necesidad de contar con Consejos Regionales de Recursos Hídricos y Comisiones de Cuencas y de Acuíferos, a efectos de promover la gestión sustentable y participativa de los recursos naturales en general, e hídricos en particular.

En definitiva, el enfoque de cuencas hidrográficas habilita el abordaje del territorio desde una perspectiva ambiental, facilitando su diagnóstico y gestión desde una perspectiva de funcionamiento integral del sistema, cosa que recoge la legislación nacional, promoviendo este tipo de enfoques.

2.3. Vulnerabilidad - Vulnerabilidad Ambiental

Existen múltiples definiciones para el término “vulnerabilidad”, muchas de ellas son generales mientras que otras son de corte más específico, asociadas a disciplinas o áreas particulares de trabajo. En este sentido, el concepto de vulnerabilidad ha sido utilizado en distintas áreas del conocimiento, desde la sociología hasta los recursos naturales (Cutter, 1996; Toro, 2012; Adger, 2006; Tran, 2012).

La vulnerabilidad está conceptualizada 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, 2001; Turner, 2003; Luers, 2003). Cutter (1996), lo define en el mismo sentido, de forma más concreta como “*el potencial para la pérdida*”. Para ello, la metodología se basa con sus matices, en el balance existente en el objeto de estudio (para la presente propuesta, una cuenca hidrográfica), entre fragilidad y amenaza.

Sin embargo, esta herramienta conceptual ofrece aún restricciones para su utilización, tales como la falta de acuerdo sobre su definición y por ende, la manera de medirla, la complejidad de los sistemas estudiados, las dificultades de acceso a información sistematizada

en algunos países (Tran, 2010) y el hecho de no ser un fenómeno directamente observable (Luers, 2003).

Birkman (2006) indica que, si bien los múltiples significados del término pueden dificultar una definición única al respecto, esto puede ser un aspecto positivo a la hora de ser aplicada o adaptada a áreas específicas. Indica además que si bien algunos de los atributos que la definen pueden ser difíciles de cuantificar (como aspectos sociales), ellos “*no escapan a la medición, o al menos, a la evaluación y sistematización del todo*” (Birkan, 2006).

El mismo autor, indica que las distintas acepciones del termino vulnerabilidad se pueden organizar en distintos círculos concéntricos según su grado de complejidad, donde las definiciones más sencillas refieren a la vulnerabilidad exclusivamente como un componente interno de los sistemas hasta otras más complejas que integran múltiples dimensiones, desde lo social e institucional hasta lo ambiental, un esquema de la propuesta del autor se presenta en la figura 1;

Figure 1: Key Spheres of the Concept of Vulnerability (Birkmann 2006)

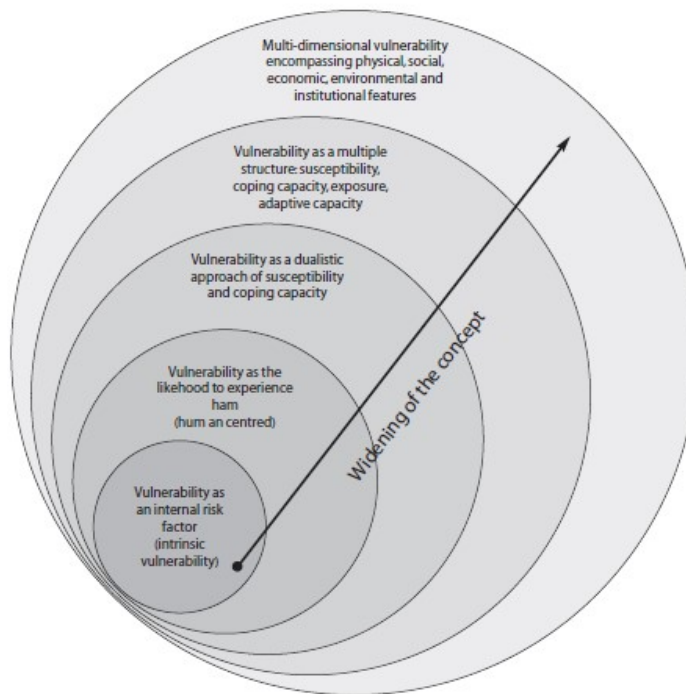


Figura N°1: Esferas clave sobre el concepto de Vulnerabilidad
Extraído de: Birkman, 2006

Otro atributo importante del termino vulnerabilidad, como propiedad de los sistemas, es el componente de variación en el tiempo. En este sentido, Gómez (2001) define la vulnerabilidad como “*un proceso dinámico*”. Esto se debe a que con el tiempo, se producen modificaciones o cambios internos en los sistemas abordados (personas, cuencas, etc), al igual

que se pueden modificar las amenazas o surgir nuevos elementos con potencial para alterar la dinámica del sistema estudiado.

En cuanto a las ciencias naturales, el concepto de vulnerabilidad ha sido vinculado a conflictos ambientales, en particular, para evaluar la susceptibilidad de una sociedad respecto a un evento natural extremo, tales como inundaciones, etc. (Cutter, 1996). Por otro lado, muchos trabajos se han realizados a partir de dicho concepto y al respecto de la gestión del territorio (Furlan, 2011; Toro, 2012), siendo parte importante, inclusive, de estudios de impacto ambiental (Toro, 2012).

En las últimas décadas, el abordaje de la problemática ambiental desde la óptica de la vulnerabilidad ha cobrado fuerza como una alternativa al enfoque tradicional del estudio de impacto ambiental (Gómez, 2001; Toro, 2012). Esto se debe a que el concepto de vulnerabilidad permite un abordaje más integral de las distintas variables que explican las características ambientales del territorio¹, entendiendo este como un sistema complejo y abierto donde distintas dimensiones interactúan de forma dinámica a lo largo del tiempo, tal como lo mencionado anteriormente.

Gómez (2001), indica que las principales aplicaciones del concepto de vulnerabilidad en la temática ambiental se vinculan a la ocurrencia de desastres naturales, más específicamente a los trabajos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático y a las evaluaciones de vulnerabilidad de poblaciones en riesgo de sufrir escasez de alimentos llevadas a cabo por el Programa Mundial de Alimentos en diversos países del mundo.

Como antecedentes al respecto y a nivel nacional, la vulnerabilidad ambiental ha sido vinculada en general a desastres climáticos. Por ejemplo el manual SIGA, desarrollado con la participación de investigadores de la Universidad de la República (UdelaR), concebido con el propósito de gestionar eventos de riesgo ambiental urbano, específicamente ante situaciones de inundaciones (IDRC, 2008). En el mismo sentido han trabajado técnicos del Grupo de Gestión Integral de Riesgo (GGIR) de la UdelaR, buscando abordar situaciones de desastres naturales desde diversas dimensiones, tales como la psicológica, la económica o la ambiental (GGIR, 2011).

En vinculación con lo anterior un equipo de Facultad de Ciencias vinculado al Centro Universitario de Rivera trabajó en la generación de un Modelo de Vulnerabilidad Ambiental para el Área Inundable de la Ciudad de Artigas, teniendo como concepto de partida que la

¹ En este trabajo, los conceptos de “ambiental” y “territorio” se usan en su sentido global, abarcando tanto los componentes biofísicos como sociales o antrópicos.

ocupación inadecuada de ese territorio es el causante de las situaciones de desajuste ambiental, y no los fenómenos de precipitaciones y la inundación consecuente.

Finalmente y a nivel regional, pero en sintonía con la presente propuesta de trabajo, investigadores de la Universidad Nacional de La Plata propusieron un índice de vulnerabilidad para cuencas hidrográficas de zonas serranas en la provincia de Buenos Aires, que integra elementos de factores condicionantes y factores activadores de procesos de erosión (Gaspari, 2011).

2.3.1. Fragilidad Ambiental

Profundizando en los elementos que componen la vulnerabilidad de un sistema, Gaviño (2000) menciona que un modelo de fragilidad ambiental se basa en el análisis del ambiente y la selección de variables clave relacionadas con la fragilidad del área, sitio o región. Para ello es necesario identificar aquellos factores ambientales más frágiles frente a una actividad determinada. La fragilidad debe estar relacionada a la susceptibilidad (ecológica, social, económica, etc.) del ambiente a alterar su estructura y función. Indica además que *“se basa en el análisis del ambiente y la elección de variables clave relacionadas con la fragilidad del área, sitio o región. La fragilidad debe estar relacionada a la susceptibilidad del ambiente a cambiar de manera significativa su estructura y función”*.

Por otro lado, la Secretaría de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (Naciones Unidas, 2016) en su glosario “*Términos Principales Relativos a la Reducción de Riesgo de Desastre*” (extraído de sitio web en 2016), menciona que la fragilidad está dada por *“factores o procesos físicos, sociales, económicos, y ambientales, que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de amenazas”*.

Nuevamente Gaviño (2000), indica que la selección de variables debe ser acorde con la disponibilidad de información necesaria para caracterizar el ambiente o la capacidad de generar nueva información (i.e., mediante el uso de sensores remotos, trabajo a campo etc.). Las variables seleccionadas deben estar relacionadas funcionalmente entre ellas, de manera de permitir la selección de combinaciones que permita valorar su mayor o menor fragilidad. Gaviño (2000) indica además que, como el objetivo es identificar situaciones ambientales de diferente fragilidad, es importante reducir el número de categorías finales (5 o menos).

2.3.2. Amenazas Ambientales

El concepto de amenaza suele aparecer en todos los trabajos vinculados al de Vulnerabilidad. Como ya se mencionó, hace referencia a aquellos elementos externos al sistema estudiado, con el potencial de alterar su normal funcionamiento o estado de equilibrio actual.

Para definir las variables externas se utilizó el concepto de amenaza del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (2008) o IDRC por siglas en inglés, que indica *“evento físico, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte o lesiones, daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental”*.

La citada bibliografía (utilizada por ejemplo para elaborar la Guía Metodológica para la Construcción del SIGA²) indica además que estas amenazas pueden ser de origen antrópico, como resultado de la utilización de tecnologías desarrolladas por el hombre o a partir del uso excesivo de los recursos naturales.

2.4. Sistemas de Información Geográfica

Según Gaviño (2000) cuando deben emplearse instrumentos de gestión ambiental, se vuelve necesario contar con estrategias que permitan organizar la información disponible para la identificación de los aspectos más relevantes del ambiente y de las intervenciones resultantes de los proyectos, así como de las interacciones que puedan dar lugar a la ocurrencia de potenciales impactos ambientales negativos.

Por otro lado Galacho (1998) reseña que existen dos caminos metodológicos para la definición de unidades homogéneas de vulnerabilidad, uno de ellos sería a través de la cartografía directa, el otro, el de la superposición automática elaborando una serie de mapas temáticos de los diferentes elementos y combinándolos luego mediante técnicas de superposición de información, tales como la generación de sistemas de información geográfica.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), son definidos por Burrough (1986), como un *“poderoso conjunto de herramientas para coleccionar, almacenar, recuperar, transformar y exhibir datos espaciales referenciados al mundo real”*.

² Sistema Integrado para la Gestión Ambiental Municipal

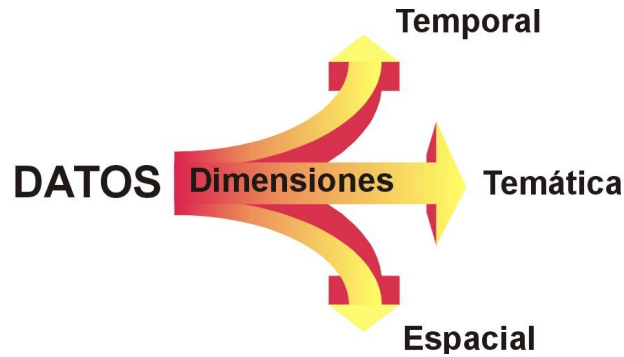


Figura N°2: Múltiples dimensiones en los Sistemas de Información Geográfica

Los SIG poseen dos grandes ventajas comparativas, por las cuales se lo consideró como una herramienta estratégica para abordar la vulnerabilidad ambiental del área. La primera de ellas, es la capacidad que tienen estos sistemas de manejar la información en forma multidimensional, elemento que se ilustra en la figura 2. La segunda, es la capacidad de manejar la información de forma georeferenciada, o sea, espacializada mediante un sistema de coordenadas de acuerdo a la realidad local.

Entre otras ventajas, permite visualizar mejor y de forma más clara los componentes y sus interrelaciones en el área, acceder a información gráfica de fácil comprensión, identificar con mayor precisión puntos estratégicos o actividades a realizar, entre otras.

En este marco general, el ambiente SIG ofrece distintas ventajas que hacen de esa una herramienta más que pertinente para la presente propuesta, permitiendo generar y operar la información obtenida en función de los objetivos planteados.

3. Justificación

Según Adger (2006) *“el concepto de vulnerabilidad ha sido una poderosa herramienta analítica para describir estados de susceptibilidad al daño”*. Por otro lado y según Toro (2012), *“el concepto de vulnerabilidad es central en muchas áreas del conocimiento, y es una herramienta básica para el análisis de problemas ambientales”*.

Por ejemplo y según Gómez (2001), *“en el caso de los desastres naturales, hasta hace poco tiempo los mayores esfuerzos de investigación estaban centrados en los fenómenos físicos más que en las circunstancias de las víctimas. La constatación de que los daños causados por un mismo fenómeno físico pueden ser muy distintos dependiendo del grado de desarrollo de los países y de otras variables, está dando paso a un nuevo enfoque en el que la noción de vulnerabilidad es el elemento clave”*.

Es por ello que, el concepto de vulnerabilidad es cada vez más usado como herramienta estratégica en la gestión del territorio, a partir del momento en que permite

integrar distintas variables e identificar puntos de especial susceptibilidad a las amenazas (Cutter, 1996; Adger, 2006; Tran, 2010; Furlan, 2011, Turner, 2003) y mejorar las estrategias de manejo, conservación y recuperación de áreas degradadas.

Gómez (2001) agrega además que *“en lo que se refiere a la comprensión de estos procesos, el enfoque de vulnerabilidad permite, en teoría, superar algunas de las limitaciones existentes en la perspectiva tradicional de evaluación de impacto ambiental, caracterizada por relaciones predominantemente lineales y centrada en los fenómenos físicos”*.

En este sentido, el concepto de vulnerabilidad ofrece una visión integral y alternativa al tradicional abordaje de evaluación de impacto ambiental (Toro, 2012), permitiendo Identificar áreas que son particularmente sensibles a futuros impactos (Tran, 2010), en vinculación con el carácter acumulativo de dicha característica del territorio (CEPAL, 2010). Facilita además la identificación de interacciones críticas en el sistema ambiental (natural – humano) mejorando la capacidad de los tomadores de decisiones (Turner, 2003).

Por otro lado, la cuenca hidrográfica como unidad de gestión integrada del territorio ofrece diversas ventajas sobre las visiones tradicionales en la gestión de los recursos naturales, constituyendo entonces un nuevo paradigma de gestión del territorio desde una perspectiva de sustentabilidad en sus cuatro dimensiones (política, social, económica y ambiental) Achkar *et al* (2004). Según el mismo autor, el manejo con enfoque de cuenca se viene generalizando desde hace varias décadas en América Latina, con importantes antecedentes en países como Brasil, México y Venezuela.

Relacionado a lo último, la legislación vigente a nivel nacional que impulsa la utilización de criterios de cuenca hidrográfica como unidad de gestión del territorio (Política Nacional de Aguas, Ley 18610), requiere la generación de información sobre las mismas, además de herramientas que faciliten su gestión a efectos de promover medidas para ordenar ocupación del territorio con criterios ambientales. Además de estas medidas a nivel de políticas públicas, los propios productores tendrán más elementos para decidir sobre el uso de sus predios y sus actividades productivas en esas zonas.

Finalmente, existen diversos antecedentes que vinculan la utilización del SIG como herramienta para modelar la vulnerabilidad en el territorio (Liao, 2013; Gaspari, 2011; Bartesaghi, 2011; Diaz, 2013). El SIG constituye una potente herramienta para sistematizar datos espaciales debido a que simplifica el manejo de datos y su cruzamiento, facilita su visualización y el establecimiento de procedimientos estándares para integrar datos alfanuméricos y cartográficos con información de sensores remotos (Basso, 2000).

Integrando los conceptos mencionados anteriormente, la cuenca hidrográfica nos ofrece una unidad natural de observación del territorio, entender y modelar los distintos grados de vulnerabilidad de sus componentes nos permitirá mejorar las condiciones en la toma de decisiones para gestionar los recursos naturales y las actividades antrópicas contenidas en ella.

4. Pregunta a Responder

A partir del marco teórico y las justificaciones planteadas anteriormente, se construye la siguiente pregunta a responder: ¿Qué procedimiento permite una definición espacialmente explícita de la vulnerabilidad en cuencas hidrográficas?

A efectos de responderla, se definen los siguientes objetivos y metodología.

5. Objetivo General

Elaborar y aplicar una metodología para modelar la vulnerabilidad ambiental a nivel de cuencas hidrográficas, mediante la utilización de SIG.

6. Objetivos Específicos

- a) Identificar y ponderar las variables que componen la vulnerabilidad del territorio a escala de cuenca.
- b) Construir una propuesta de índice de vulnerabilidad, que permita identificar y caracterizar su distribución espacial diferencial en una cuenca.
- c) Aplicar y validar el índice propuesto en la cuenca del Arroyo Lunarejo, en el departamento de Rivera.

7. Metodología

7.1. Área de Estudio

Para la realización del presente trabajo, se eligió la cuenca del Arroyo Lunarejo en el Departamento de Rivera. La elección se basó en la proximidad del área a la ciudad de Rivera, la heterogeneidad en cuanto a unidades ambientales y la presencia conocida de distintas actividades productivas. La interacción entre estos elementos supuso un escenario de interés para aplicar la metodología propuesta. Es importante destacar también que en la cuenca se

encuentra el área protegida “*Paisaje Protegido Valle del Lunarejo*”, integrada con esa categoría al Sistema Nacional de Áreas Protegidas por decreto presidencial en el año 2009, constituyendo este también un elemento de interés para la elección del área de trabajo.

La cuenca del Arroyo Lunarejo se localiza al noreste del Uruguay, en particular, al este del Departamento de Rivera, próxima a la zona conocida como Rincón de Artigas, en el límite contestado con la República Federativa del Brasil (Figura 3 y 4). El Lunarejo, es un afluente del Río Tacuarembó y su cuenca está delimitada hacia el oeste y norte por la Cuchilla de Haedo y al Sur por la Cuchilla de la Venta, separando a esta última de la cuenca del arroyo Laureles.

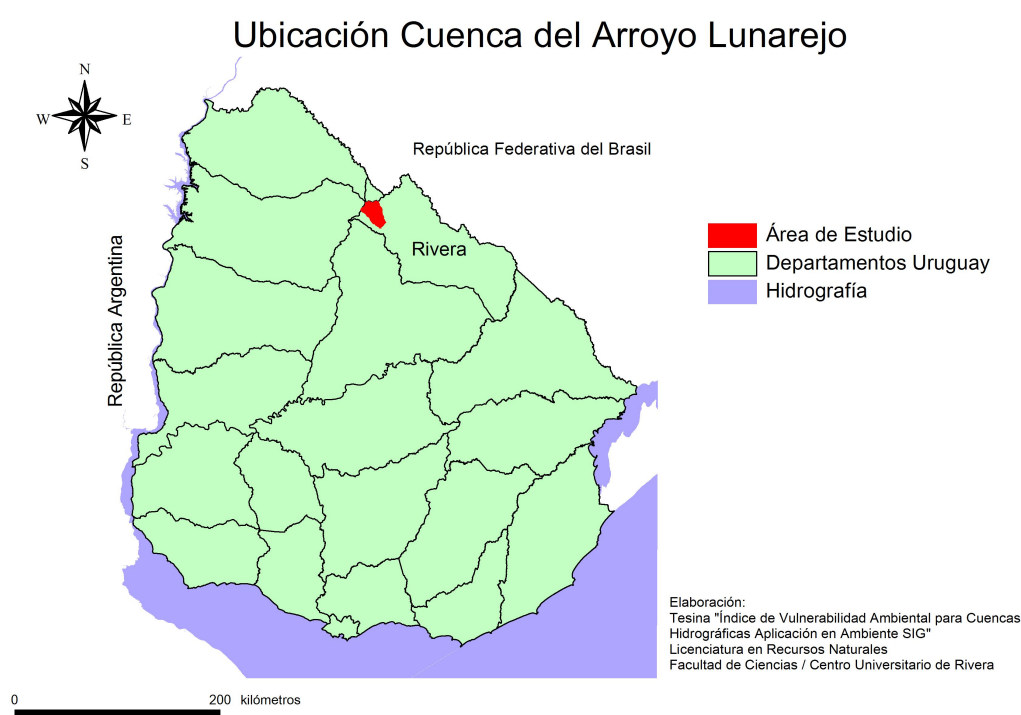


Figura N° 3: Ubicación de la cuenca del Arroyo Lunarejo en Uruguay
Elaboración; Gabriel Freitas, 2016

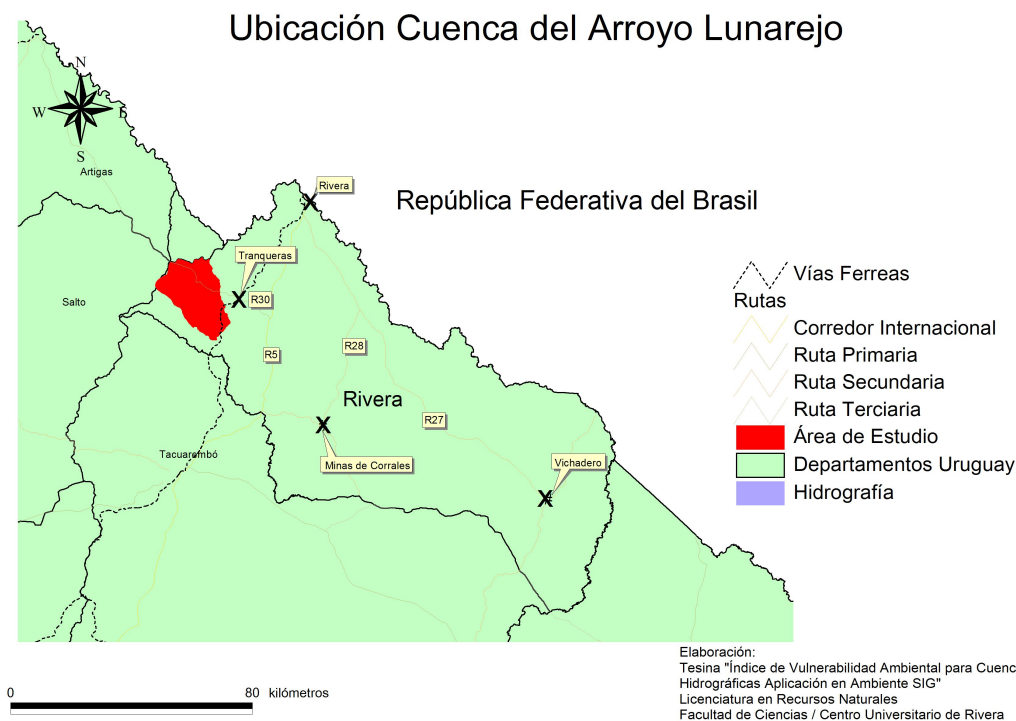


Figura N° 4: Ubicación de la cuenca del Arroyo Lunarejo en el Departamento de Rivera
Elaboración; Gabriel Freitas, 2016

Le cuenca delimitada tiene una superficie cercana a las 40.000ha³, con alturas superiores a los 350m, pendientes abruptas correspondientes a quebradas y cuchillas. Para la delimitación de la cuenca se utilizaron cartas 1:50.000 del Servicio Geográfico Militar, así como información topográfica generada a partir de un Modelo Digital de Terreno (National Air and Space Administration, 2000).

Según Berrini *et al* (1998) geológicamente, el área se encuentra en una zona de contacto entre la formación Arapey, constituida por basaltos y producto de derrames de lava, y la formación de areniscas de Tacuarembó. La edad de las coladas basálticas se sitúa en el Cretácico inferior, mientras que la formación Tacuarembó corresponde al Jurásico-Triásico. Estas formaciones geológicas sumadas al trabajo del agua terminaron por generar quebradas, las cuales son definidas en la página web del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) (SNAP, 2016) como “*profundas incisiones entalladas en la roca basáltica, de importantes pendientes y relieve energético, donde confluyen cuevas, paredones verticales y saltos de agua y se desarrolla una exuberante vegetación de tipo selvática subtropical*”.

³ La superficie total de la cuenca delimitada, luego de generada la grilla de celdas de 1ha de superficie cada, fue de 30190Has.

Cuenca del Arroyo Lunarejo

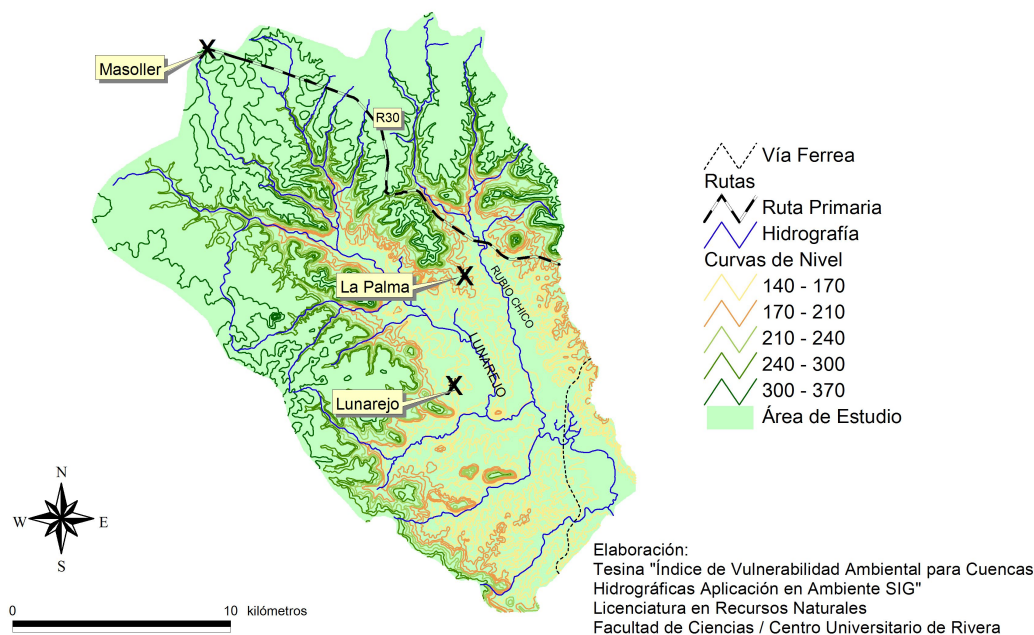


Figura N° 5: Área de la cuenca del Arroyo Lunarejo con hidrografía, curvas de nivel y rutas.
 Elaboración; Gabriel Freitas, 2016

El SNAP (2016) indica además que el área posee una gran heterogeneidad de ambientes naturales, incluyendo diferentes tipos de pastizales, bosques (serranos, ribereños, de quebrada), matorrales, arroyos y cañadas que brindan refugio y alimento a diversas especies de fauna autóctona de gran interés por su rareza, distribución y abundancia. Indica además que, el área forma parte de un corredor biológico único en el país, que por sus características ambientales favorece la entrada de especies subtropicales tanto vegetales como animales de Brasil.



Figura N° 6: Fotografía del Arroyo Lunarejo, foto desde el valle. Gabriel Freitas 2016

La principal actividad productiva en la zona es la ganadería extensiva. Hacia la desembocadura de la cuenca se destaca el avance de la producción forestal, tal como podemos ver en la figura N°7. A esto se le debe sumar, además, algunas iniciativas puntuales de turismo rural, vinculadas al gran valor paisajístico de la zona, tal como se observa en la figura N°6 y la existencia del área protegida.



Figura N° 7: Fotografía de cultivos forestales de pinos. Gabriel Freitas 2016

El principal centro poblado más próximo a la zona se encuentra fuera de la cuenca, y es la ciudad de Tranqueras. En el área, se encuentran algunos caseríos o parajes poblados, tales como los de Las Palmas, Boquerón o Lunarejo, entre otros. Se destaca también la presencia de un predio del Instituto Nacional de Colonización, cedido en el marco de un llamado específico a grupos de productores a un conjunto de 7 familias que trabajan el predio.

7.2. Esquema Conceptual del Modelo. Variables

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 (Luers, 2003; Villa, 2002).

El esquema propuesto para este trabajo incluyó dos niveles de agregación como requisito para mantener la integridad del enfoque de sistema (Villa, 2002), en un primer nivel con mayor detalle, se encuentran los dos sub modelos, de fragilidad y de amenazas con sus respectivos atributos. El segundo nivel, más general, es el que integra los modelos de fragilidad y amenazas para reflejar la vulnerabilidad ambiental en el territorio de la cuenca.

7.2.1. Sistematización de la Información

A partir de la definición de la cuenca hidrográfica donde se aplicó el modelo propuesto, se definió un tamaño de celda representativo de la superficie de la misma y a la vez manejable para los volúmenes de información a operar. En este sentido, la unidad de análisis fueron celdas de 1ha, las que conformaron una grilla con un total de 39.190 celdas.

La información obtenida se procesó en base informática SIG, ya que las variables analizadas se relacionaran por sus atributos espaciales. El SIG es una herramienta fundamental para el manejo de datos geográficos de forma multidimensional y georeferenciada. En el presente trabajo, esta herramienta permitió el cruzamiento de información de fuentes variadas para la construcción de cada modelo y para el modelo final de vulnerabilidad ambiental.

En cuanto al referencial geográfico, se adoptó el sistema UTM, WGS84, zona 21 S. de coordenadas cartográficas para la elaboración del SIG. El Sistema UTM es un sistema de coordenadas internacional, que constituye la base de referencia de la cartografía que esta adoptando Uruguay en la cartografía nacional.

En cuanto a la operación entre variables (o agregación), Villa (2002) a ese respecto afirma por un lado la necesidad de que los modelos más sencillos reduzcan el número de niveles de agregación, aunque recomienda la utilización de al menos dos. Por otro lado, diferencia mecanismos de agregación lineales (ej: suma) de los no lineales (ej, multiplicación), indicando que estos últimos reflejan mejor los niveles de interacción entre las variables. Al respecto del peso de esas variables, Villa muestra dos grandes escenarios posibles, por un lado la atribución directa de pesos y por el otro, el cálculo en base al peso parejo de las variables en una matriz.

Para este trabajo en particular, las variables que definieron tanto los mapas de “Fragilidad” como de “Amenazas” se multiplicaron. Estos valores, una vez normalizados, se sumaron para obtener el valor final de Vulnerabilidad para cada celda (figura, 8). Las variables no se ponderaron previamente, sino que el peso específico de ellas en la variabilidad del modelo se explicó a través del Análisis de Componentes Principales.

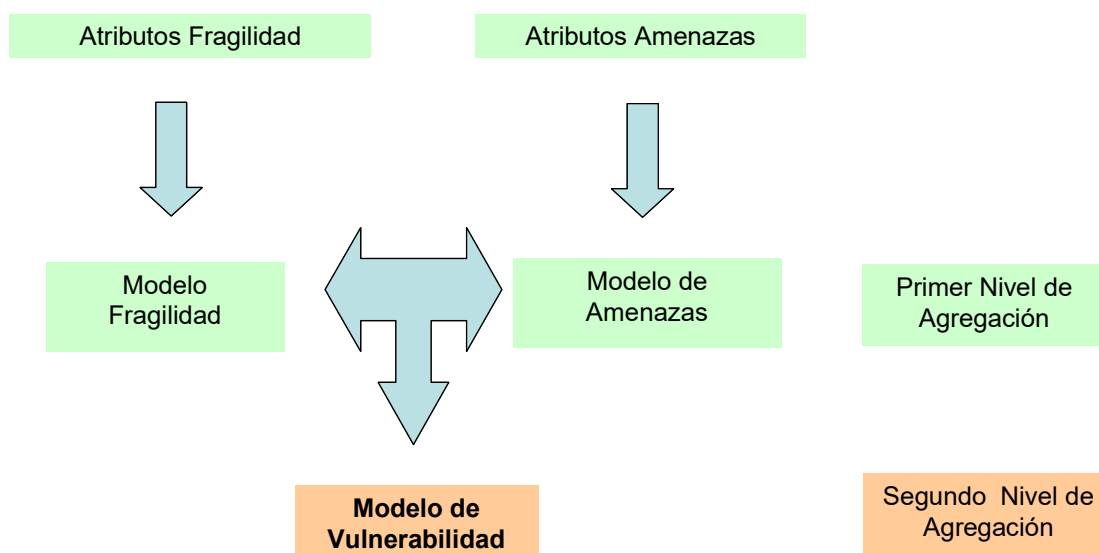


Figura N° 8: Esquema conceptual del modelo de vulnerabilidad.
Elaboración; Gabriel Freitas, 2016

Gran parte de la aplicación de este índice se basó en información indirecta disponible e información nueva generada a partir de estas. La delimitación de la cuenca se realizó utilizando cartas del Servicio Geográfico Militar, en particular las cartas J8 “Masoller” y J9 “Las Palmas”, además de una cobertura de curvas de nivel del Ministerio de Transportes y Obras Públicas. La información geomorfológica, tal como pendientes y geoforma (convexidad) se obtuvo procesando el Modelo Digital de Terreno ASTER (NASA, 2000).

Para la definición de cobertura vegetal, se utilizó una imagen Landsat 8 de febrero de 2015 (LANDSAT_SCENE_ID = "LC82240822015045LGN00") obtenida del sitio del U.S. Geological Survey, la misma fue utilizada para el cálculo del índice de intensificación agraria para ese año.

Para el cálculo del mismo índice en los años 1995 y 2005, se utilizaron imágenes Landsat 5 (LANDSAT_SCENE_ID = "L5TM19951021224082" y LANDSAT_SCENE_ID = "LT52240822005065CUB00" para los años 1995 y 2005 respectivamente), también cortesía de la página web del U.S. Geological Survey.

La información de fauna (anfibios, reptiles, mamíferos y aves) se obtuvo del trabajo coordinado por Brazeiro *et al* (2011), a partir del cual se sistematizó información de presencia de especies por unidades ambientales, desde los registros existentes en distintas fuentes.

El procesamiento de las imágenes satelitales, que incluye el armado de las mismas integrando las bandas utilizadas, el uso de máscaras y demás, se realizó utilizando el programa ENVI (ESRI co). El mismo programa se utilizó para extraer información geomorfológica del modelo digital de terreno. La sistematización y análisis de toda la información generada se realizó utilizando el software ArcView 3.3 (ESRI co). El análisis de auto correlación espacial se realizó en software ArcGis 10.

El análisis de componentes principales se realizó utilizando el programa estadístico SPSS 23.

7.2.2. Elaboración de Mapa de Fragilidad Ambiental

Para este trabajo, se definieron como variables internas el componente biofísico característico en el territorio de una cuenca. Si bien es imposible modelar en su totalidad la complejidad de las mismas, se realizó una selección representativa a partir de las variables utilizadas en los trabajos realizados por un equipo de Facultad de Ciencias titulado "Vulnerabilidad Ambiental de la Zona Inundable de la Ciudad de Artigas" (Bessonart *et al*; 2010), también en trabajos como los realizados por Díaz (2013), Furlan (2011) y Bartesaghi (2011). Estas variables son:

1. Pendiente: desnivel existente en el paisaje. Distintos porcentajes de pendiente hacen que ese lugar tenga mayor o menor concentración o dispersión de energía para la movilización de sedimentos y elementos constituyentes del suelo. Esta información se generó a partir del procesamiento del Modelo Digital de Terreno ASTER (NASA, 2000).

3. Geoforma (convexidad): es la forma del relieve y del paisaje en un determinado lugar. Existen formas más o menos convexas que concentran o dispersan energía, haciéndolas más o menos susceptibles a cambios. Esta información también se generó a partir del procesamiento del Modelo Digital de Terreno ASTER de NASA.

4. Vegetación: formaciones vegetales existentes en el área. Siguiendo la clasificación de vegetación según fragilidad de Lepsch (1991) y según el criterio de que las formaciones vegetales más próximas a estados de equilibrio son más resistentes o con mejor capacidad de recuperarse. Las clases de vegetación utilizadas fueron (en orden creciente de fragilidad): Leñosas (bosque nativo, matorrales, o sea cualquier área con vegetación nativa), Herbáceas (campo nativo, praderas artificiales, bañados) y Sustituida (agricultura, horticultura, áreas con cobertura de campo nativo en suelos superficiales (Litosoles)). Para generar esta cobertura, se trabajó con una imagen del satélite Landsat 8 de NASA, se realizó una clasificación no supervisada con el software ENVI 5.1 (ESRI co), la cual luego se ajustó mediante análisis supervisado.

5. Tipos de suelo: en base a las unidades de suelos CONEAT (MGAP, 1994) de la zona, evaluando las características de los suelos que los hacen menos susceptibles a procesos de degradación como la erosión.

6. Fauna: Presencia real de fauna, en particular especies en riesgo, según el trabajo realizado por Brazeiro et al (2011). Según el mismo autor, la riqueza de especies es un criterio ampliamente utilizado en estudios de priorización y, al menos en Uruguay, los sitios con mayores valores de riqueza de especies contienen también mayor número de especies amenazadas. Para la utilización de esta información, se debe de considerar que, si bien es la mejor información disponible, sigue siendo una generalización sobre el territorio a partir de relevamientos puntuales. Para definir la fragilidad se tomó entonces el gradiente de valores de presencia de especies (riqueza) para cada celda y se lo clasificó en tres clases iguales.

A cada una de estas variables se les asignó, para cada celda, un valor de fragilidad que varió entre 1 (menor fragilidad) y 3 (mayor fragilidad), de acuerdo a lo expresado en la siguiente tabla.

Variables	Detalle	Valor de Fragilidad
Suelos (FrS)	agrupados en base a unidades de suelos (CONEAT, MGAP, 1994)	
12,20 - G03,11 - G03,12 - G03,3	valles y zonas inundables, profundos y pesados - arcillosos	1
7,2 - 7,31 - 7,41 - 7,42	profundos, textura arenoso franca, bien a imperfectamente drenados y fertilidad extremadamente baja	2
1,10a - 1,10b - 1,12 - 7,31 - 7,41 - 7,42	suelos superficiales, alta rocosidad, importante pendiente	3
Pendiente (FrP)	Obtenida del Modelo Digital de Terreno	
Nula	0 a 2%	1
suave - moderada	3 a 8%	2
fuerte-muy fuerte	más de 8%	3
Geoforma (convexidad) (FrG)	Obtenida del Modelo Digital de Terreno	
Planos	MDT presenta valores de 0	1
Cóncavos	MDT presenta valores positivos	2
Convexos	MDT presenta valores negativos	3
Vegetación (FrV)	Lepsch (1991)	
Leñosas	bosque nativo, matorrales, o sea cualquier área con vegetación nativa	1
Herbáceas	campo nativo, praderas artificiales, bañados	2
Sustituida	agricultura, horticultura, áreas con cobertura de campo nativo en suelos superficiales (Litosoles)	3
Fauna (FrF)	Riqueza de Especies	
Riqueza Baja	Para los grupos de Anfibios, Reptiles, Mamíferos y Aves, se tomó la información de riqueza de especies del trabajo coordinado por Brazeiro (2011)	1
Riqueza Media		2
Riqueza Alta		3

Tabla N° 1: Tabla de variables, clases y valor de fragilidad

Una vez obtenidos los valores de fragilidad para cada celda, en cada una de las 5 variables, se procedió a multiplicar esos valores para obtener un gradiente final único de fragilidad para la cuenca, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Fr} = \mathbf{FrS} * \mathbf{FrP} * \mathbf{FrG} * \mathbf{FrV} * \mathbf{FrF}$$

7.2.3. Mapa de Amenazas

Para esta propuesta, consideraremos las actividades antrópicas (más precisamente, los usos del suelo) como el principal agente alterador de los ciclos ambientales en la cuenca. Según Achkar, *et al* (2012); *“el ser humano modifica el territorio para llevar a cabo actividades productivas. Estas modificaciones producen importantes cambios en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, afectando en última instancia la propia calidad de vida de las personas”*.

Para ello, se identificarán y clasificarán los usos de suelo existentes en la zona y su potencial impacto sobre el marco biofísico, tomando como base el trabajo realizado por Prados (2002) donde se clasificaron distintos usos de suelo a partir de un Índice de Intensificación Agrícola. Este Índice valora la magnitud de los cambios entre los distintos usos y las posibles alteraciones que se derivan sobre la utilización de los recursos naturales.

Las clases de uso de suelo utilizadas fueron (en orden creciente en valor de intensificación) Bosques y Humedales, Pastizales, Forestal y por último, Agrícola.

Se aplicó el mencionado índice para los años de 1995, 2005 y 2015. El período elegido buscó incluir el tiempo previo a la actividad forestal, su desarrollo y el establecimiento del área protegida. A partir de esos índices se obtuvo además un valor de intensificación para los procesos ocurridos entre el 1995 y 2005, el 2005 y 2015 y para el total de los 20 años, o sea entre 1995 y 2015. Se buscó con esto tener valor parciales del proceso (cada 10 años), así como de la totalidad del período estudiado.

A esta información se les agregó un valor especial de amenaza para las áreas urbanas (en este caso solamente la localidad de Masoller), y para la presencia de caminería vecinal y rutas. En la tabla 2 se esquematizan los valores asignados a las variables.

Variables	Detalle	Valor de Fragilidad
Intensificación para años 1995, 2005 y 2015		
Bosques - Humedales	Tomado de Prados (2002)	1
Pastizales		2
Forestal		3
Agrícola		4
Intensificación entre 1995 y 2005		
Resultado del cociente entre el valor, para cada celda, de los años 2005 y 1995		
Intensificación entre 2005 y 2015		
Resultado del cociente entre el valor, para cada celda, de los años 2015 y 2005		
Intensificación entre 1995 y 2015		
Resultado del análisis del comportamiento de cada celda en los 20 años, a partir de los valores obtenidos para 95 - 05 y 05 y 15		
Áreas Urbanas		
A las celdas ocupadas por áreas urbanas se les asignó siempre el mayor valor de amenaza (4)		
Rutas y Caminos		
Las celdas con el valor final de intensificación donde se registra la presencia de rutas o caminos vecinales, se las multiplicó por 2		

Tabla N° 2: Tabla de variables y detalle sobre amenaza

Los valores obtenidos para cada una de las variables, para cada celda, se multiplicaron para obtener un gradiente final único de amenaza en el área, según la siguiente fórmula:

$$Am = (i95 * i05 * i15) * i95_05 * i05_15 * i95_15$$

7.2.4. Elaboración del Modelo de Vulnerabilidad

Los valores obtenidos para los mapas de fragilidad y amenazas se normalizaron para poder operarlos, logrando rangos en ambos casos que varían entre 0 y 100. Para obtener el valor final 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;

$$V = Fr + Am$$

7.3. Análisis estadístico. Evaluación del modelo

Para evaluar la autocorrelación espacial de la información generada, se utilizó una herramienta estadística disponible en el paquete del programa ArcGis (ESRI co) llamada Índice de Moran.

Este índice mide la autocorrelación espacial basada en las ubicaciones y los valores de las entidades simultáneamente. Dado un conjunto de entidades y un atributo asociado, evalúa si el patrón expresado está agrupado, disperso o es aleatorio. Se considera que en el espacio geográfico los elementos más cercanos están más relacionados entre sí (ANSELIN, 1995). El I de Moran (MORAN, 1948) es una medida para la autocorrelación espacial, esencialmente es el coeficiente de correlación de Pearson con una matriz de ponderación de ubicación espacial que mantiene el rango entre -1 y 1. La hipótesis nula responde a la afirmación H_0 la configuración espacial es aleatoria, y la alternativa H_a la configuración espacial no es aleatoria. El nivel de significancia indica la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo ésta verdadera. La herramienta (ArcGis 10) calcula el valor del Índice I de Moran y una puntuación z y un valor P para evaluar la significancia de ese índice. Los valores P son aproximaciones numéricas del área debajo de la curva de una distribución conocida, limitada por la estadística de prueba.

La evaluación matemática del modelo conceptual propuesto se realizó a través de técnicas de análisis multivariados, en particular, metodologías de Análisis de Componentes Principales (ACP). Una vez sistematizada la información a nivel de la grilla de una hectárea se procedió a realizar el mencionado ACP, con el objetivo de conocer el comportamiento multivariado del sistema y la agrupación posible de las variables.

Según Smith (2002), esta es una técnica que *“permite identificar patrones en los datos y expresarlos de tal manera de que se resalten sus similitudes y diferencias”*. El ACP es un método exploratorio que permite disminuir el número de variables perdiendo la menor cantidad de información posible. Es decir trata de explicar la mayor parte de la variabilidad total del sistema, con un menor número de variables que se denominan componentes principales. Estos nuevos componentes resultan de la combinación lineal de las anteriores y resultan ser independientes entre sí.

La utilidad del análisis viene dada por la existencia de correlación entre las variables originales, que se traduce en una redundancia de los datos, que pueden ser simplificados en un menor número de variables que guardan relación con las originales. Estos componentes

pueden ser jerarquizados en base a la información que integran, medida por la proporción de la variancia total del sistema explicada.

Previo analizar la matriz resultante con los datos de la vulnerabilidad así como de sus variables para cada celda al ACP, se realizaron otros análisis cuyo objetivo era conocer la viabilidad de someter la misma al ACP. Estos fueron la medida de adecuación muestral de Kaiser – Meyer – Olkin (o KMO) y la prueba de esfericidad de Bartlett.

Los valores de KMO y de la prueba de esfericidad de Bartlett, son medidas de adecuación muestral. Un valor de KMO por debajo de 0,5 indicaría que no debería utilizarse en análisis factorial con los datos muestrales que se están analizando. Por otro lado, la prueba de esfericidad de Bartlett contrasta la hipótesis nula de que la matriz de correlaciones observada es en realidad una matriz identidad. Si el nivel crítico (Sig.) fuere mayor que 0,05, no se podría asegurar que el modelo factorial sea adecuado para explicar los datos.

8. Resultados

A partir de los objetivos generales y específicos planteados, y la metodología utilizada, se obtuvieron los resultados que se detallarán a continuación.

8.1. Propuesta de Modelo de Vulnerabilidad

El primer resultado relevante del presente trabajo fue la definición de un modelo conceptual y operativamente viable que explicara la variación en el espacio de la vulnerabilidad ambiental. Tal como se detalló en la metodología, el mismo resulta de la articulación entre variables internas (5 en este caso: Suelos, Vegetación, Pendiente, Convexidad y Fauna) y variables externas o amenazas vinculadas en este caso a procesos de intensificación agraria (Gazzano, 2014).

8.2. Aplicación del Modelo de Vulnerabilidad Ambiental

A partir del esquema conceptual propuesto, el mismo se aplicó para la cuenca del Arroyo Lunarejo, en el Departamento de Rivera.

8.2.1. Mapa de Fragilidad

A partir de las 5 variables identificadas para describir la fragilidad del ambiente en la cuenca, se generaron las siguientes coberturas (o layers), sistematizadas y procesadas en ambiente SIG;

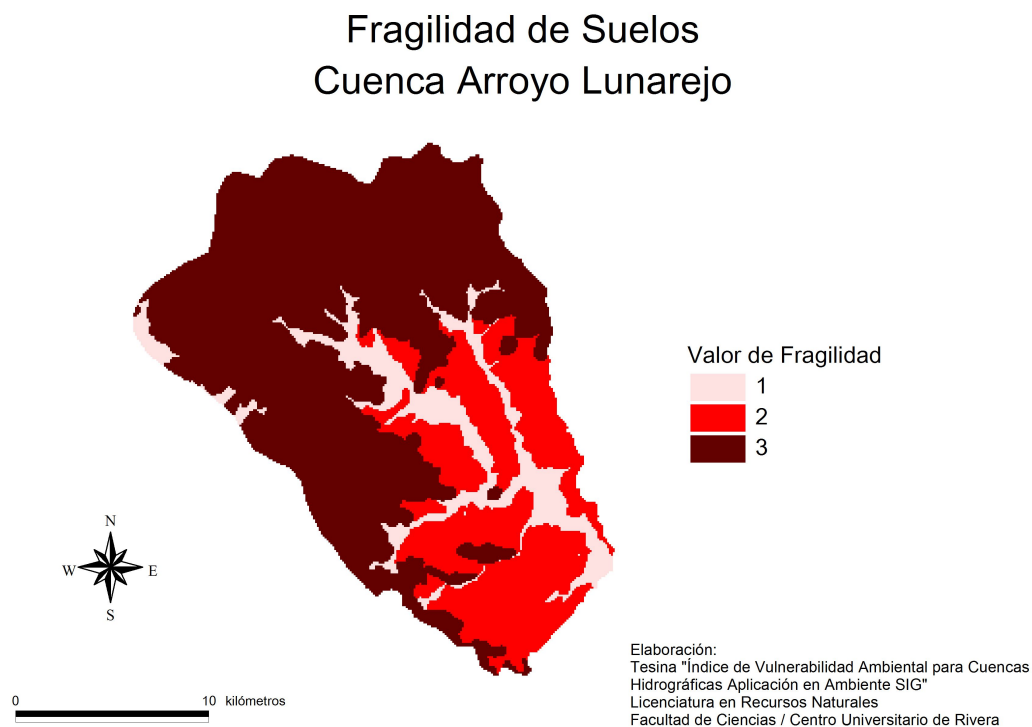


Figura N°9: Fragilidad de Suelos en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración: Freitas, 2916

En la figura N°9, se visualiza la distribución de la fragilidad según los tipos de suelos. Los valores más bajos asociados a los cursos de agua y los valores más altos, en el área de “altiplano”.

Fragilidad de Vegetación (2015) Cuenca Arroyo Lunarejo

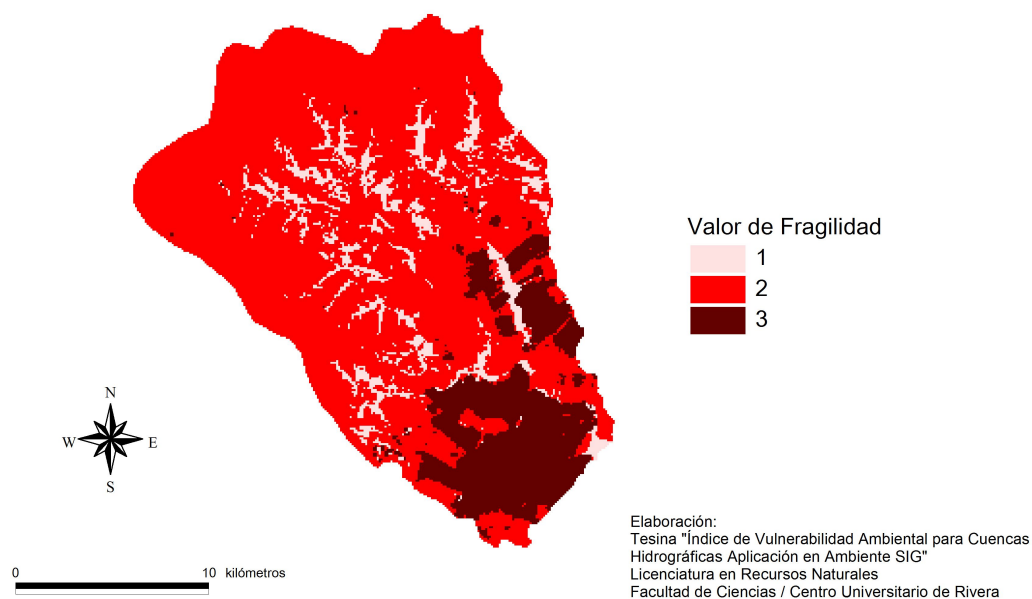


Figura N°10: Fragilidad de Vegetación en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2916

La figura N°10 presenta la distribución de la fragilidad asignada a las formaciones vegetales en la cuenca. La amplia mayoría de la cuenca, ocupada por pastizales, se encuentra en una categoría de fragilidad intermedia, mientras que las zonas de bosques naturales conforman las zonas de menor valor de fragilidad. Finalmente, aquellas áreas con presencia de vegetación sustituida definen el área con mayor valor de fragilidad.

Fragilidad de Pendientes Cuenca Arroyo Lunarejo

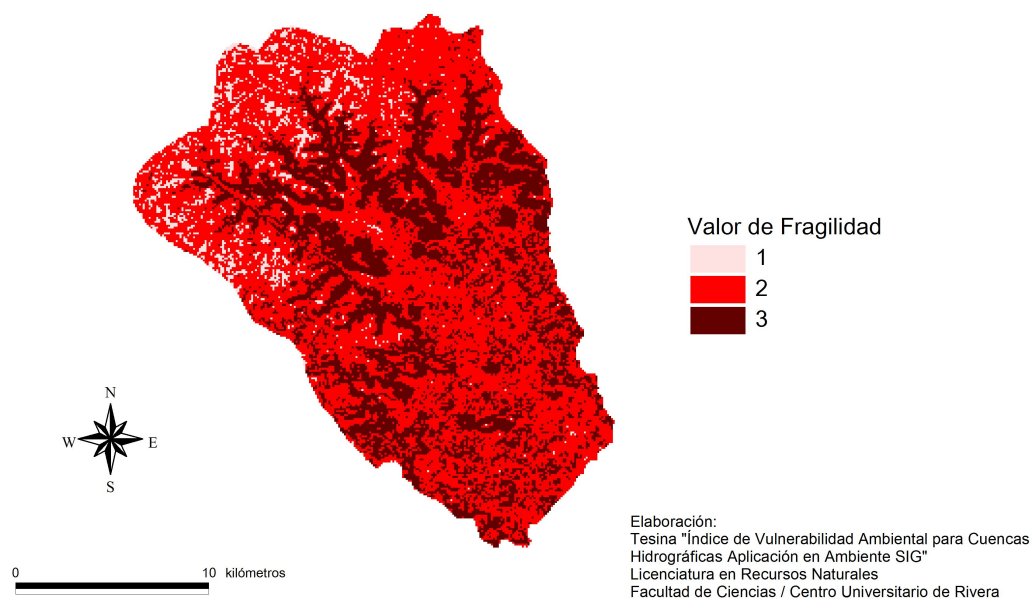


Figura N°11: Fragilidad de Pendientes en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración: Freitas, 2016

La figura N°11 presenta la distribución de la fragilidad según la pendiente, para la cuenca. Si bien dominan los valores de pendiente con fragilidad intermedia, se percibe en las zonas de quebradas (entre otras) la presencia de los mayores valores de fragilidad, mientras que los menores valores están presentes principalmente en la zona de “altiplano”.

Fragilidad de Fauna Cuenca Arroyo Lunarejo

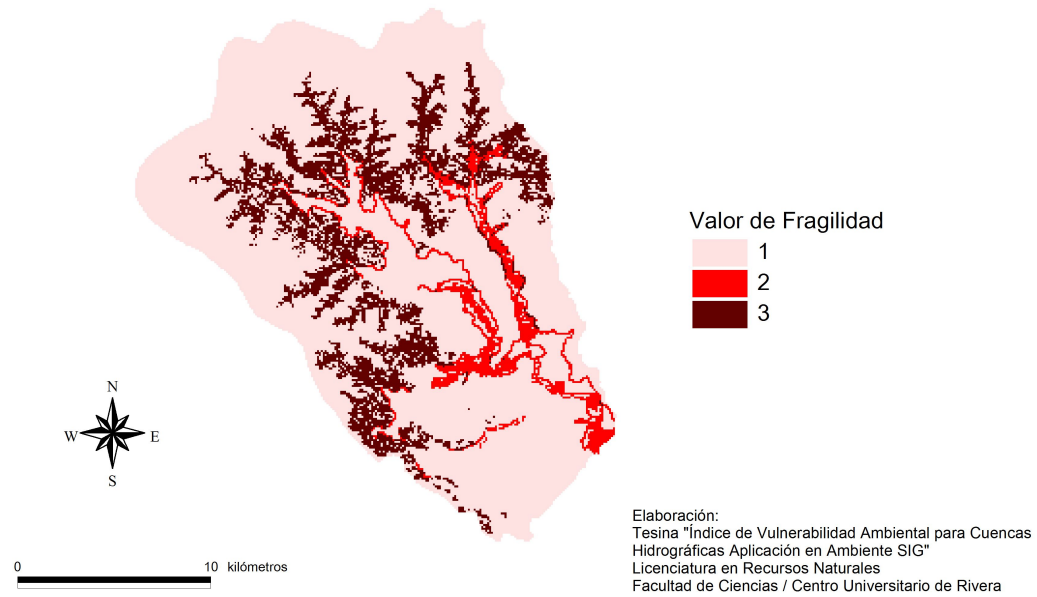


Figura N°12: Fragilidad de Fauna en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

La figura N°12 presenta la distribución de la fragilidad según la fauna, para la cuenca. Los valores intermedios y altos de fragilidad, se agruparon en la zona de quebradas y asociados a los cursos de agua, mientras que en el resto del área están los valores intermedios.

Fragilidad de Geoforma (Convexidad) Cuenca Arroyo Lunarejo

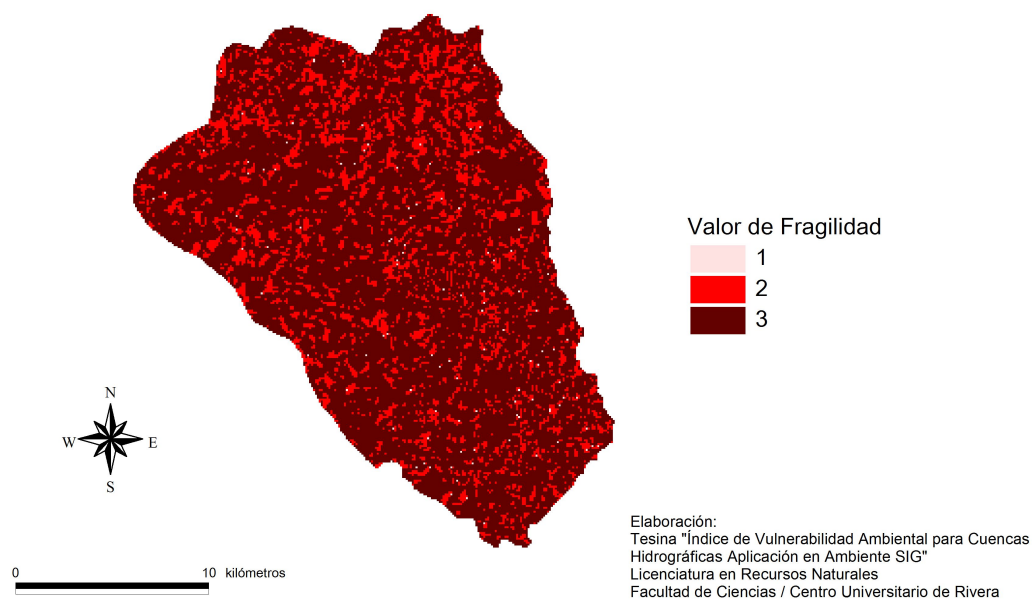


Figura N°13: Fragilidad de Geoforma en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

La figura N°13 muestra la distribución de la fragilidad según la geoforma, en particular según la concavidad o convexidad del terreno, para la cuenca. La mayoría del área se divide entre valores intermedios y altos, ya que son raros o inexistentes los casos de un terreno plano.

Del cruce de las cinco variables mencionadas, de acuerdo a lo expuesto en la metodología, se obtuvo el siguiente mapa de fragilidad ambiental para la zona;

Mapa de Fragilidad Ambiental Cuenca Arroyo Lunarejo

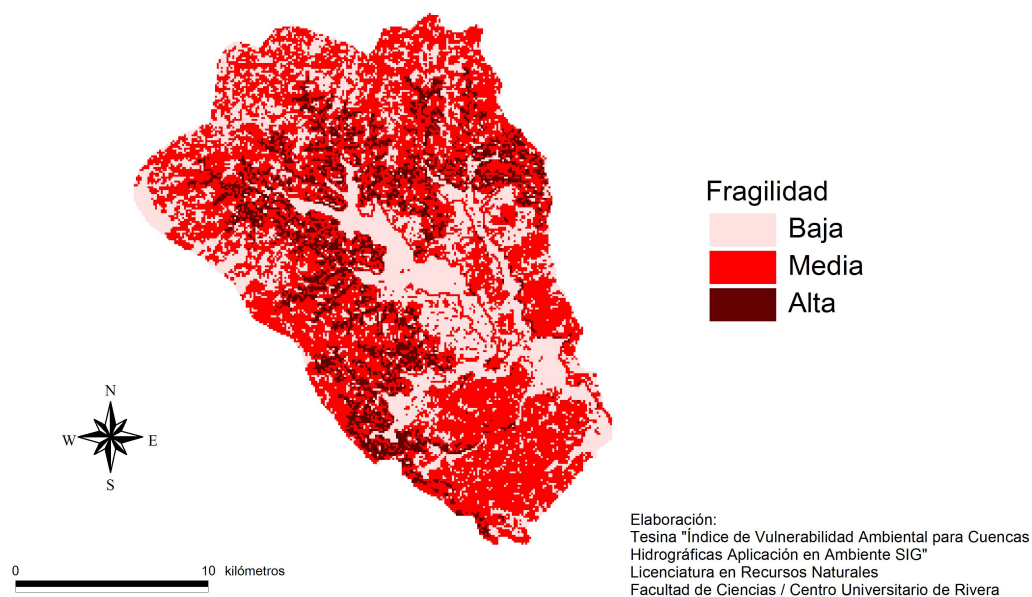


Figura N° 14: Mapa de Fragilidad Ambiental en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

De la información sistematizada y procesada para la cuenca, surge la siguiente tabla de superficies;

Fragilidad	Superficie (Ha)	% (sobre total del área)
Baja	12159	31
Media	20663	53
Alta	6368	16
Total	39190	100

Tabla N° 3: Superficie y porcentaje sobre el total del área de la fragilidad ambiental

8.2.2. Mapa de Amenazas

A partir de la propuesta de Prados (2002) se construye el Índice de Intensificación Agraria, se elaboraron los siguientes mapas para los años 1995, 2005 y 2015;

Índice de Intensificación (Prados, 2002) para año 1995 Cuenca Arroyo Lunarejo

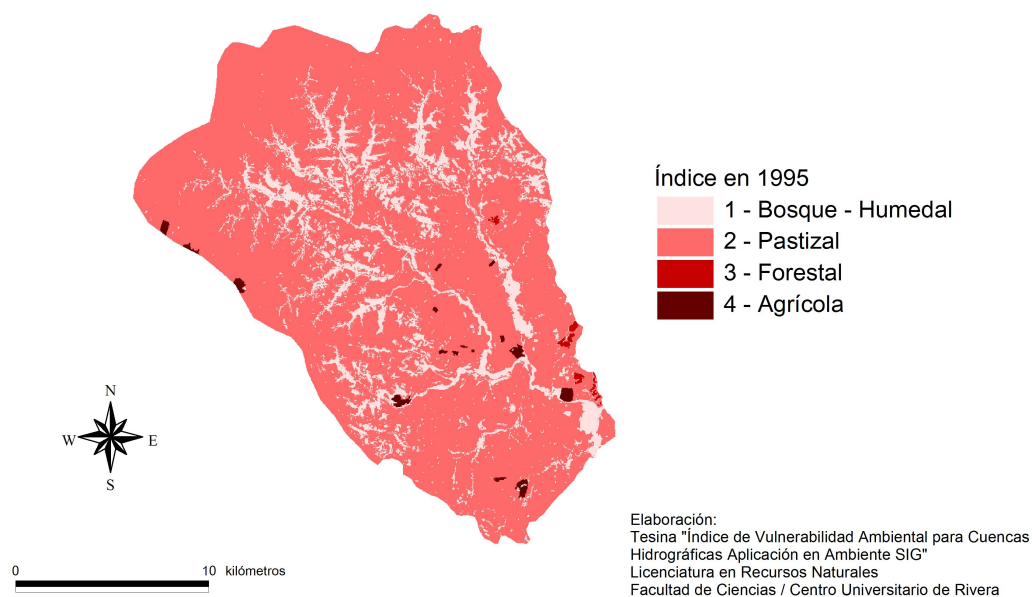


Figura N°15: Índice de Amenazas para el año 1995 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

La figura N°15 muestra el resultado de la aplicación del índice de amenazas para el año 1995. Se percibe en particular la escasa presencia de actividad forestal en el área. Predominan los valores bajos de intensificación, integrados por áreas de bosques y humedales, así como de pastizales.

Índice de Amenazas (Prados, 2002) para año 2005 Cuenca Arroyo Lunarejo

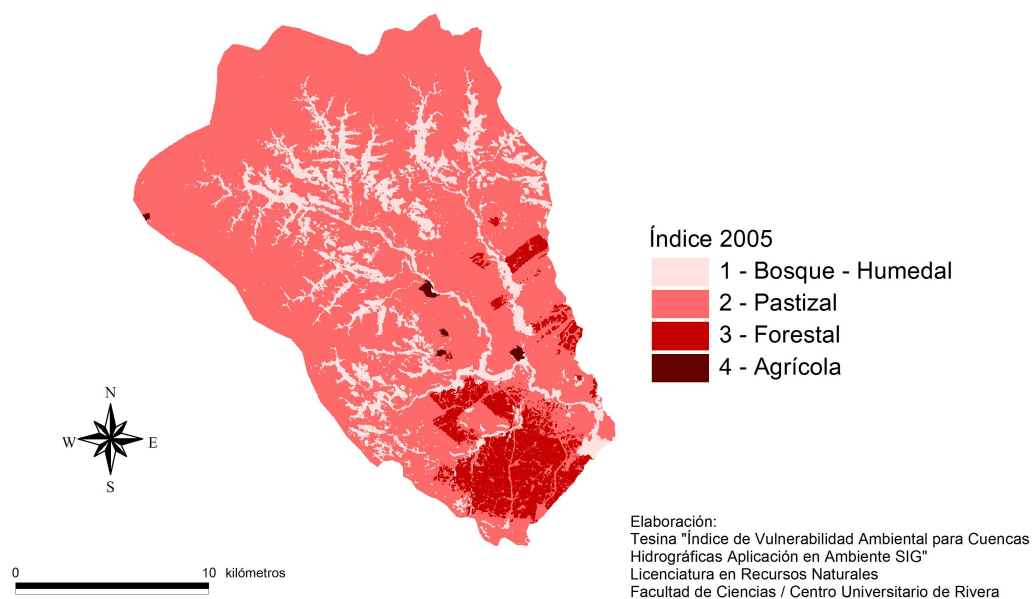


Figura N°16: Índice de Amenazas para el año 2005 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016.

La figura N°16 presenta el resultado de la aplicación del índice de Amenazas para el año 2005. En este caso, ya se hace evidente la presencia de la actividad forestal, aumentando entonces las áreas con valores de intensificación o amenazas superiores.

Índice de Intensificación (Prados, 2002) para el año 2015 Cuenca Arroyo Lunarejo

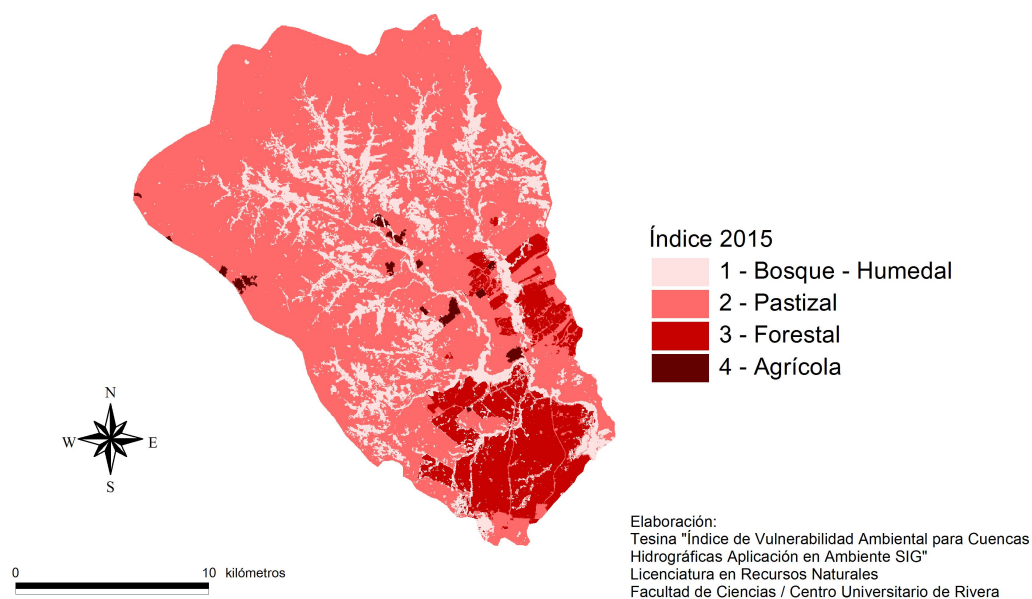


Figura N°17: Índice de amenazas para el año 2015 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

La figura N°17 presenta el resultado de la aplicación del índice de Amenazas para el año 2015, este resultado confirma la tendencia presente para el año 2005, con la actividad forestal creciente y consolidada en parte de la cuenca, incidiendo en la distribución espacial de la fragilidad en ese año.

A partir de de la información presentada, se construyeron modelos para describir el proceso entre los años 1995 y 2005 (figura N°18), 2005 y 2015 (figura N°19) y finalmente, uno que reflejara los 20 años del período, entre 1995 y 2015 (figura N°20);

Intensificación Agraria Entre los Años 1995 y 2005 Cuenca Arroyo Lunarejo

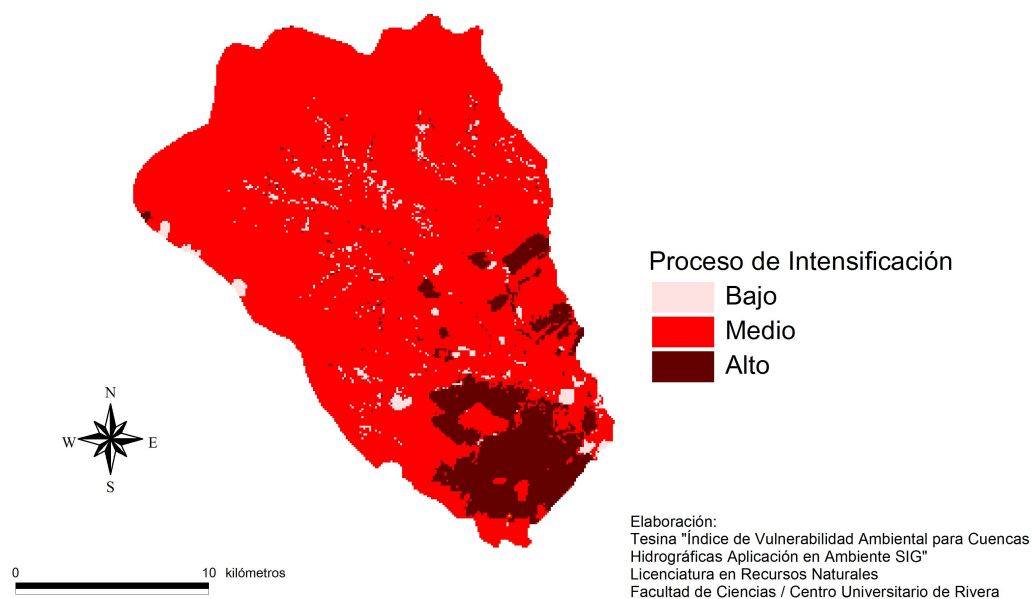


Figura N°18: Intensificación agraria entre los años 1995 y 2005 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

Intensificación Agraria Entre los Años 2005 y 2015 Cuenca Arroyo Lunarejo

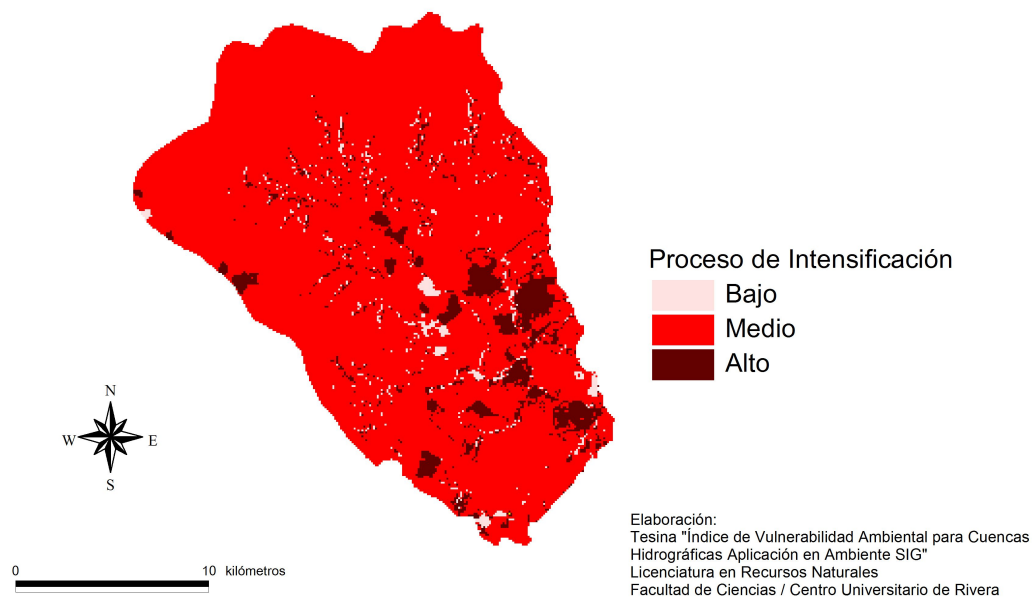


Figura N°19: Intensificación agraria entre los años 2005 y 2015 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

Intensificación Acumulada para los Años 1995 al 2015 Cuenca Arroyo Lunarejo

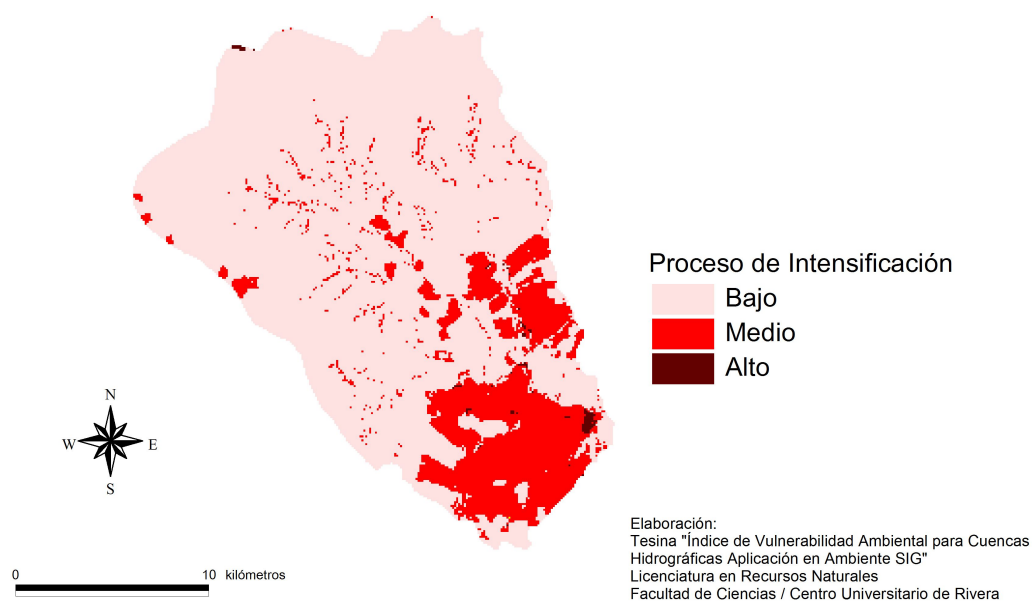


Figura N°20: Intensificación agraria entre los años 1995 y 2015 en la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

De la información sistematizada y procesada se obtuvo el siguiente mapa de amenazas para la zona de estudio;

Mapa de Amenazas Cuenca Arroyo Lunarejo

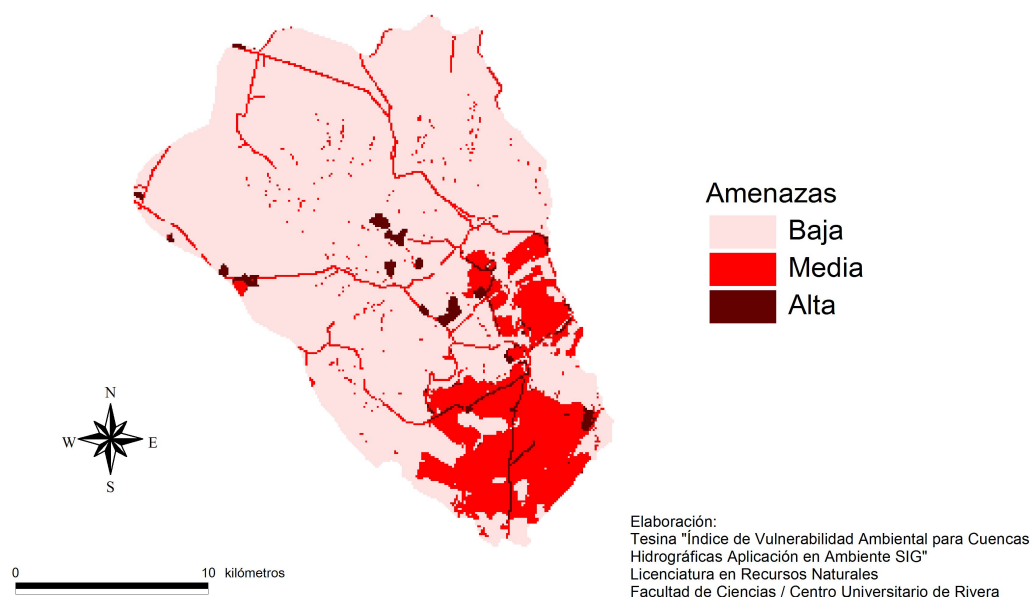


Figura N°21: Mapa de amenazas para la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

La figura N°21 presenta la distribución final de la amenaza para la cuenca del Arroyo Lunarejo. En una matriz general de amenaza baja, se percibe en el mapa zonas de amenaza intermedia vinculadas a la caminería (rural y rutas) y la actividad forestal. Por otra parte las zonas con valores máximos de fragilidad constituyen algunos parches dispersos.

De la información sistematizada y procesada para la cuenca, surge la siguiente tabla de superficies;

Amenaza	Superficie (Ha)	% (sobre total del área)
Baja	30984	79
Media	7332	19
Alta	874	2
Total	39190	100

Tabla N° 4: Superficie y porcentaje sobre el total del área de la amenaza

8.2.3. Modelo de Vulnerabilidad

A partir de la información presentada y la metodología propuesta, se construyó en ambiente SIG el modelo de vulnerabilidad ambiental para la cuenca del Arroyo Lunarejo, cuya expresión gráfica se presenta en la figura 22.

Modelo de Vulnerabilidad Ambiental Cuenca Arroyo Lunarejo

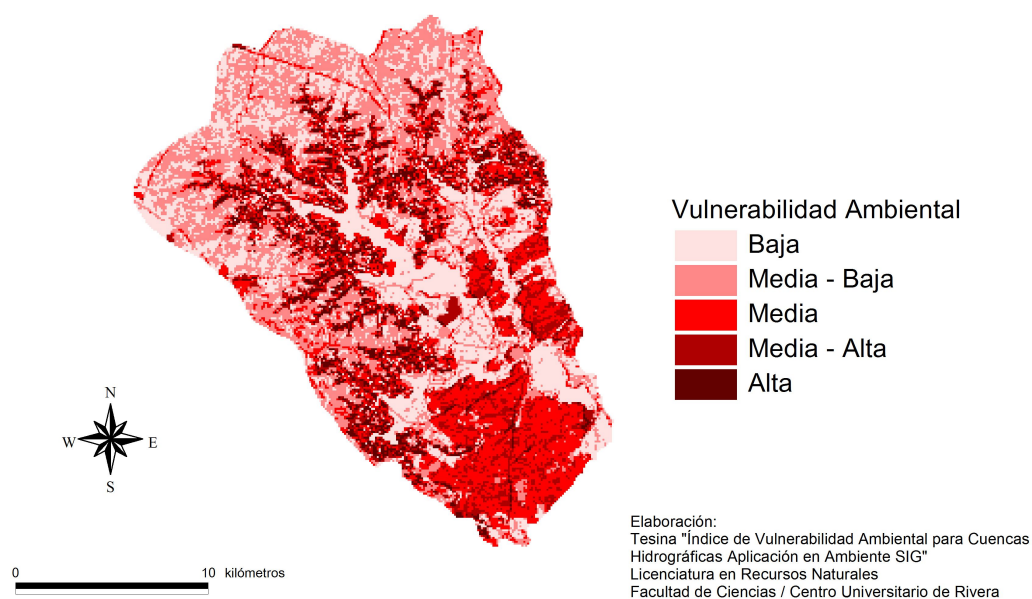


Figura N°22: Modelo de Vulnerabilidad Ambiental para la cuenca del Arroyo Lunarejo.
Elaboración; Freitas, 2016

De la información sistematizada y procesada para la cuenca, surge la siguiente tabla de superficies;

Vulnerabilidad	Superficie (Ha)	% (sobre total del área)
Baja	10397	26
Media – Baja	12141	31
Media	8622	22
Media – Alta	4982	13
Alta	3048	8
Total	39190	100

Tabla N° 5: Superficie y porcentaje sobre el total del área de la vulnerabilidad ambiental

8.3. Análisis Estadístico de los Resultados

El análisis de auto correlación espacial para el modelo de vulnerabilidad, calculado a través del índice de Moran, indica que la información generada se agrupa espacialmente en clusters, y no de forma randómica o dispersa (figura 23, tabla 6). Esto es un importante indicador de que las variables propuestas para el modelo se relacionaron de forma coherente y que el resultado es adecuado.

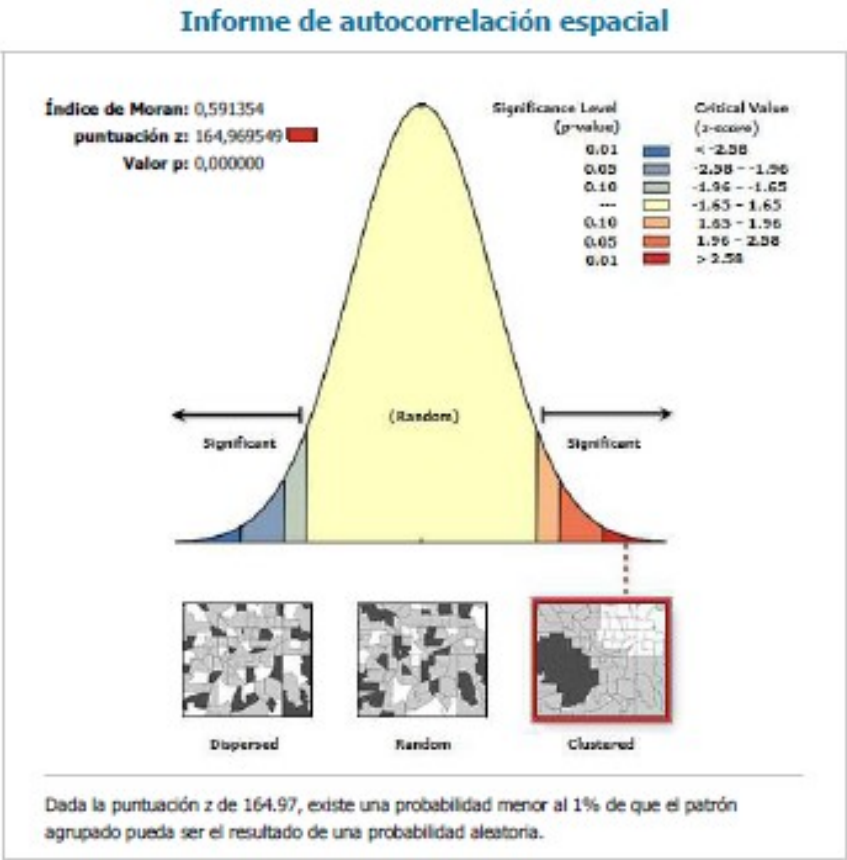


Figura N°23: Gráfica sobre índice de auto correlación espacial

Resumen del índice global I de Moran

Índice de Moran:	0,591354
Índice esperado:	-0,000026
Varianza:	0,000013
puntuación z:	164,969549
Valor p:	0,000000

Tabla N° 6: Resumen del índice de Moran

8.4. Análisis de Componentes Principales

De un primer análisis de la matriz 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 “Convexidad”, “Caminería” e “Índice 95”⁴ tuvieron muy poca relevancia en la explicación del modelo, por lo que se procedió a rehacer los cálculos sin integrarlas, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 7.

⁴ “Índice 95” refiere al valor del índice de intensificación para el año de 1995

Prueba de KMO y Bartlett	
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo	,675
Prueba de esfericidad de Bartlett	660597,580
	Sig. ,000

Tabla N° 7: Valores de pruebas de KMO y Bartlett

Tanto la prueba de KMO como la prueba de esfericidad de Bartlett indicaron la pertinencia y adecuación de la matriz ingresada para el análisis factorial a través del ACP. Una vez realizadas las mencionadas pruebas, se realizó el ACP, con la matriz de datos, obteniendo los resultados que se presentan en la tabla 8:

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de extracción de cargas al cuadrado			Sumas de rotación de cargas al cuadrado		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	5,678	40,557	40,557	5,678	40,557	40,557	4,417	31,548	31,548
2	3,010	21,498	62,055	3,010	21,498	62,055	4,271	30,507	62,055
3	1,819	12,992	75,047						
4	1,110	7,926	82,973						
5	,684	4,888	87,861						
6	,586	4,183	92,043						
7	,348	2,487	94,530						
8	,241	1,720	96,250						
9	,205	1,461	97,711						
10	,143	1,024	98,735						
11	,102	,728	99,463						
12	,034	,244	99,707						
13	,025	,177	99,884						
14	,016	,116	100,000						

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Tabla N° 8: Tabla de varianza total explicada

De la tabla 8 se desprende claramente que los dos primeros factores explican, sumados, poco más del 60% de la variación del modelo. El gráfico de componente rotado que se presenta en la figura 24, ayuda a observar el agrupamiento de las variables que integran el modelo.

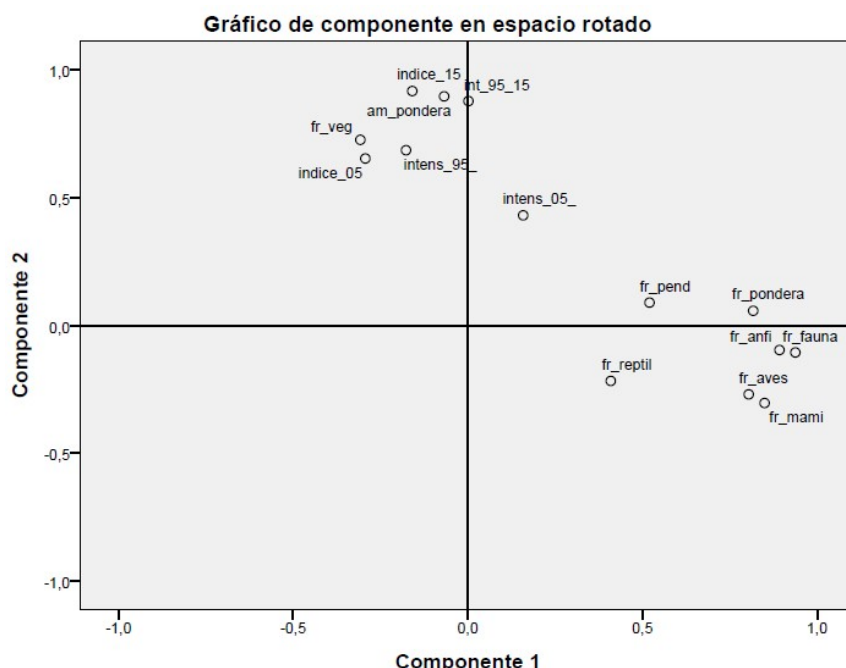


Figura N°24: Gráfico de componentes en espacio rotado

En la figura N°24 se observa la agrupación de las variables de fragilidad por un lado, vinculadas al componente 1, y a amenazas por el otro, vinculadas al componente 2, formando dos grupos de variables claramente diferenciados.

A continuación, la tabla “Matriz de componente rotado” (tabla 9) nos muestra el peso relativo de cada variable en el modelo; la línea roja indica la diferenciación en la agrupación de la importancia de las variables en el componente 1 fragilidad y en el componente 2 amenazas.

Variables	COMPONENTE	
	1	2
Fragilidad Fauna	0,938	0,106
Fragilidad Anfibios	0,892	0,097
Fragilidad Mamíferos	0,850	0,304
Fragilidad Total	0,817	0,057
Fragilidad Aves	0,804	0,270
Fragilidad Pendiente	0,520	0,089
Fragilidad Reptiles	0,409	0,218
Amenaza Año 2015	0,159	0,917
Amenaza Total	0,068	0,897
Intensificación entre 95 - 15	0,002	0,878
Fragilidad Vegetación	0,308	0,726
Intensificación entre 95 - 05	0,177	0,686
Amenaza Año 2005	0,294	0,653
Intensificación entre 05 - 15	0,158	0,431

Método de Extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser

Tabla N° 9: Matriz de componente rotado

9. Conclusiones y Discusión

Con la metodología empleada se logró identificar, cuantificar y presentar gráficamente la variabilidad espacial de la vulnerabilidad del ambiente, construyendo un modelo espacial de vulnerabilidad para la cuenca del Arroyo Lunarejo. En este sentido, el presente trabajo realiza un aporte, al decir de Birkman (2006) a “traducir el abstracto concepto de vulnerabilidad a herramientas prácticas a ser utilizadas en el campo”, dadas los desafíos que tiene la aplicación del concepto tanto del punto de vista de su definición como de su resolución matemática. Constituye entonces una de las pocas aproximaciones a la temática a nivel nacional, al menos desde la perspectiva ambiental.

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.

Tanto la fragilidad de los ambientes como las amenazas presentan patrones espaciales de distribución heterogéneos dentro de la cuenca, pudiéndose destacar tanto áreas como sitios puntuales de destacado valor ambiental y también sitios con importantes niveles de amenazas.

Uno de los elementos de interés y al mismo tiempo una fortaleza al respecto del esquema conceptual propuesto, es que permite el análisis por separado de los dos principales componentes del modelo, la fragilidad del ambiente por un lado, como la amenaza por el otro. Esto permite además analizar, en cada caso y con particular atención, el comportamiento espacial de las variables que los componen.

El modelo propuesto quedó estadísticamente validado, tanto en cuanto a la elección de las variables como a los procesos matemáticos de integración de las mismas, a partir por un lado del resultado del análisis de auto correlación espacial que comprobó una agrupación de la información en clusters y no aleatoriamente, y por el otro lado por el análisis de componentes principales realizado, que muestra un agrupamiento razonable de las variables utilizadas.

El análisis estadístico para el modelo obtenido muestra dos datos de interés. En primer lugar, que el modelo está explicado en mayor parte, por el componente vinculado a la fragilidad (31,5%) de la zona (componente interno), más que por las amenazas (30,5%) (componente externo). Este hecho queda inmediatamente expresado de forma visual a partir de la similitud entre el mapa de Fragilidad (Figura N°14) y el mapa final de Vulnerabilidad (Figura N°22) y es refrendado además por el Análisis de Componentes Principales, tal como lo ya mencionado.

El otro elemento interesante surgido del mencionado análisis, resultó ser la importancia que tuvo el atributo “Fauna” dentro del mapa de fragilidad. Si bien se esperaba un peso mayor de variables vinculadas a la geomorfología o el suelo, esto no quedó demostrado en el análisis estadístico. Por su parte, dentro de “Fauna”, la información sobre “Anfibios” demostró tener mayor peso relativo que la de los demás grupos funcionales. Este hecho resultó bastante sorprendente, ya que se esperaba que esta variable estuviera en mayor medida vinculada a cuestiones como la pendiente, los tipos de suelo o la geoforma. Aunque de todas formas estas variables no son independientes como lo demostró el resultado de la prueba KMO, para la aplicación del ACP.

El mapa de fragilidad muestra que las zonas con mayores valores se encuentran asociadas a las áreas de quebradas. Si bien esto podría indicar su vinculación con la variable

“pendiente”, en realidad esto refleja el peso de la variable “fauna” en la resolución de este mapa, tal como lo expresado por el análisis estadístico. Por otro lado, las zonas de valles, cercanas a cursos de agua resultaron con menores valores de fragilidad, mientras que entre las zonas de fragilidad media encontramos las áreas cultivadas (forestación) y parte de las zonas altas sobre el basalto, en las nacientes de los cursos de agua (ver Figura N°14).

A la hora de operacionalizar los conceptos que integran el modelo vulnerabilidad, quizás el de “fragilidad” haya sido el que ofreció mayores desafíos. Poder resolver que tan frágil es cada elemento en el territorio, principalmente desde una perspectiva de “fragilidad intrínseca” de cada uno exige aún mayor desarrollo. Esto se resolvió caso a caso para cada una de las 5 variables elegidas, en base fundamentalmente a la bibliografía disponible.

En cuanto al mapa de “Amenazas”, la variable “Índice 2015” tuvo un mayor peso en la explicación del modelo (ver tabla N°9), esto era de esperarse, ya que se apostaba a que el modelo reflejara con mayor intensidad la situación actual, más allá del proceso ocurrido en los 20 años estudiados.

Tal como se comentó en el punto 8 “Resultados”, la variable “índice 95” no tuvo peso en “Amenazas”. Esto seguramente refiera a un mayor nivel de naturalidad en la zona, previo al ingreso de la actividad forestal en la misma.

En general, se percibe en el mapa resultante que las zonas con mayores niveles de amenazas se encuentran asociadas a la existencia de cultivos forrajeros (agricultura para forraje) al igual que las zonas urbanas (la pequeña área ocupada por la localidad de Masoller), mientras que el sector forestal claramente ocupó la situación intermedia de fragilidad, junto a la caminería.

Es importante destacar que se podrían articular otras variables como “amenazas” a la integridad del sistema ambiental, además del proceso de intensificación agraria utilizado en este trabajo. Esto permitiría incluir otras actividades con el potencial de alterar las dinámicas naturales del sistema cuenca, como por ejemplo la instalación de industrias, actividades extractivas, entre otras. En este sentido, otra de las ventajas del abordaje propuesto para el presente trabajo es que permite visualizar el impacto acumulativo de distintas amenazas sobre el territorio.

En cuanto a aspectos metodológicos, el trabajo en ambiente SIG confirmó ser una gran herramienta a la hora de abordar la creación y aplicación de estos modelos sobre sistemas complejos, debido a la facilidad de sistematizar y generar información, además de operar la relación entre ellas. En este sentido, el mismo fue un elemento esencial para cumplir con los objetivos propuestos.

Tal como se menciona al principio de este documento, el modelo propuesto expuso una situación de contradicción entre dos políticas diferentes y en principio, antagónicas, que coexisten en esta porción del territorio. Si bien el gran desarrollo del sector forestal en la zona es previo al establecimiento mediante decreto presidencial del área protegida, es también probable que la misma no se haya seguido desarrollando debido a que ya había ocupado los suelos de prioridad forestal en la zona, más que por la definición del “Paisaje Protegido”.

A efectos de profundizar en este elemento y a partir del trabajo realizado, se profundizó en un abordaje específico para la zona del Paisaje Protegido Valle del Lunarejo. El trabajo titulado “Tensiones entre Conservación y Producción, Vulnerabilidad Ambiental y Ecología, el caso del Valle del Lunarejo, Rivera, Uruguay” fue presentado en el encuentro anual de la Sociedad de Ecología para Austria, Alemania y Suiza en setiembre del año 2016. Un breve resumen de lo expuesto se agrega en el apartado 11 “anexos”.

Una cuestión relevante a mencionar es que el proceso de intensificación agraria en la zona es diferente a otras regiones del Uruguay. En este caso en particular, el mismo está directamente vinculado a la actividad forestal y a una política específica de apoyo e incentivo a este sector. En otros lugares, el proceso de intensificación está más vinculado a los cultivos de secano, en particular la soja, cuyo estímulo y desarrollo radicó en el alto valor de mercado y ventajas competitivas existentes, más que en políticas específicas para el desarrollo del mismo.

La delimitación de las zonas según grados de vulnerabilidad, permite apoyar la toma de decisión en torno a la planificación territorial general en la cuenca. La identificación de los impactos de las diversas acciones puntuales que se realizan es relevante en el desarrollo del plan de gestión del área. Contribuye además a la definición de estrategias de manejo y gestión de cuencas hidrográficas. En este sentido, es importante que la diversidad de situaciones se distribuya en forma heterogénea dentro de la cuenca, generando importantes posibilidades para el desarrollo de un plan de gestión que tienda a ordenar el conjunto de actividades que se realizan en la cuenca.

En ese sentido, la información generada y contenida en el modelo propuesto podría constituir un aporte sustancial para fortalecer el enfoque de gestión de cuencas hidrográficas planteado en la Política Nacional de Aguas (ley N° 18610), ya que contar con información exhaustiva del sistema ambiental y antrópico, así como el estado y resultado de sus interacciones, tal cual se plantea en esta propuesta metodológica, resulta de importancia estratégica para dichos fines.

9.1. Recomendaciones

A partir del trabajo realizado, como de los resultados obtenidos, se abren algunas posibilidades de trabajo tanto para el área académica como para la gestión de la zona.

En primer término, sería interesante agregar el componente de resiliencia de los sistemas ambientales al modelo de vulnerabilidad generado. En este sentido, Gómez (2001), citando a Clark *et. al.* (2000) define a la resiliencia como “*capacidad para resistir o recuperarse del daño asociado con la convergencia de presiones múltiples*”. Indica también que “*otros autores utilizan el término resiliencia con un significado parecido: facilidad y rapidez del sistema para recuperarse del stress*”. Parte de la bibliografía de referencia menciona a este como un tercer elemento de importancia a la hora de considerar la vulnerabilidad en el ambiente, ya que aquellos ecosistemas con menor capacidad de recuperación ante un disturbio estarían también en una situación de mayor vulnerabilidad que otros lugares en el territorio.

Por otro lado, ese mismo componente temporal de ese atributo del sistema (la vulnerabilidad) hace que la validez del modelo planteado sea limitada, por lo que actualizaciones sistemáticas, al menos de algunas de sus variables (las vinculadas a la fauna, a la intensificación agraria, entre otras), serían indispensables para mantenerlo vigente.

Otro elemento interesante a trabajar, es la posibilidad de integrar al modelo variables vinculadas a la morfometría de la cuenca. Esto permitiría fortalecer el modelo en su aplicación a las cuencas y pensar en elaborar un valor indicador único para cada caso, habilitando la posibilidad de comparar distintos casos.

Estudiar los servicios ambientales existentes, El Millennium Ecosystem Assessment (2003) propone una clasificación de servicios ecosistémicos, que será utilizada para presentar los principales servicios ambientales que están involucrados en el funcionamiento del sistema ambiental. En este sentido, la mencionada clasificación destaca algunos grandes grupos, tales como servicios de soporte, provisión, regulación, culturales y residenciales. Conocer la existencia de estos, según grado de vulnerabilidad existente en el área, podría indicarnos cuales de estos servicios podrían estar más expuestos a alteraciones del sistema y cual sería la afectación sobre el funcionamiento sobre el mismo.

Otro elemento para profundizar en esta línea de trabajo, sería el de fortalecer la información existente sobre la fauna de la zona, ya que la información disponible no responde a un esfuerzo sistemático y homogéneo de muestreos, por lo que en ese sentido puede haber cierto sesgo en la información relativa a la presencia de especies y, en particular, de especies

en riesgo. Además sería de interés integrar otros grupos con potencial como bioindicadores, tales como los insectos.

También sería interesante explorar la posibilidad de integrar la dimensión temporal al modelo, ya que la vulnerabilidad, además de ser una propiedad del sistema, varía con el tiempo y es probable que la correlación entre las variables también cambie. Esto permitirá, entre otras cosas, modelar la variación de la vulnerabilidad en la cuenca hacia el futuro, de acuerdo a la estimación del comportamiento de las variables que integran el modelo.

En cuanto a las aplicaciones concretas de los productos obtenidos, a partir de la información generada se abre la posibilidad de, en vinculación con la Comisión Asesora Específica del “Paisaje Protegido Valle del Lunarejo”, integrar el enfoque utilizado la información generada para fortalecer el Plan de Manejo Integrado de la mencionada área protegida.

Por otro lado pero vinculado al marco legal nacional, la presente propuesta constituye un aporte también a la ya mencionada Política Nacional de Aguas (ley N° 18610), en la medida en que, desde la perspectiva territorial de cuenca hidrográfica, permite la sistematización de información relevante para la toma de dediciones en su gestión. En este sentido, sería interesante trabajar sobre la articulación de ambos elementos, la legislación existente y la herramienta desarrollada en este trabajo.

En el mismo sentido a lo anterior y en vinculación con la ya mencionada y vigente legislación de ordenamiento territorial, vale destacar que la misma dispone de “*Instrumentos Especiales de Ordenamiento Territorial*”, que permiten generar zonificaciones específicas para zonas puntuales del territorio, en respuesta a necesidades puntuales, tales como son las áreas protegidas (o una cuenca hidrográfica). En este sentido, la metodología planteada puede ser un aporte específico para orientar dicha zonificación en el marco de la legislación actual de Ordenamiento Territorial.

10. Bibliografía

- 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. Blum, A. Bartesaghi, L. Ceroni, M. (2012). Escenarios de Cambio de Uso del Suelo en Uruguay. Informe Técnico. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias/Vida Silvestre/ Sociedad Zoológica del Uruguay/ CIEDUR. 24pp.
- Adger, N. (2006). Vulnerability. Global Environmental Change. Vol 16. pp 268 – 281.
- Adamson, M. (2008). Guía Metodológica para la Construcción del SIGA. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Canadá.
- Anselin, L. (1995). Local Indicators of Spatial Associations-LISA. Geographical Analysis. vol.27:93-115 p.
- Bartesaghi, L. (2011). Modelización de la vulnerabilidad del territorio a la erosión frente a distintos escenarios de uso del suelo. Aportes para la Planificación del Territorio. Maldonado, Uruguay. Tesis Licenciatura en Geografía. Facultad de Ciencias. Montevideo Uruguay. 72pp.
- Bessonart, M. Achkar, M. Freitas, G. Da Costa, E. (2010). Elaboración de un Modelo de Vulnerabilidad Ambiental en la Zona Inundable de la Ciudad de Artigas. Facultad de Ciencias – Centro Universitario de Rivera.
- Berrini, R. *et. al.* (1998). Cuenca Superior del Arroyo Lunarejo; Sociedad Zoológica del Uruguay. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Montevideo.
- 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/Nº5.
- Brazeiro, A. Achkar, M. *et. al.* (2008). Prioridades Geográficas para la Conservación de la Biodiversidad Terrestre de Uruguay. Resumen Ejecutivo. Proyecto PDT 32-26.
- Burrough, P.A. (1986). Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12, Oxford Science Publications, New York.
- 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.
- Cutter, S. (1996). Vulnerability to Environmental Hazards. Progress in Human Geography. Vol 20, Nº 4. pp 529 – 539.
- Díaz, I. (2013). Modelación de los aportes de nitrógeno y fósforo en cuencas hidrográficas del departamento de Canelones (Uruguay). Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. Facultad de Ciencias. Universidad de la República. Uruguay. 88pp.
- Dourejeanni, A. (2000). Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable; CEPAL; División de Recursos Naturales e Infraestructura; Series de la CEPAL.
- Fernández, G. González, A. (2008). Sistema Integrado para la Gestión; Ambiental Municipal; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo – Canadá.

- Furlan, A. Bonotto, D. Gumiere, S. (2011). Development of Environmental and Natural Vulnerability Mapas for Brazilian Coastal at Sao Sebastiao in Sao Paulo State. *Environment Earth Science*. Vol 64. pp 659 – 669.
- Gazzano, I. Achkar, M. (2014). Transformación territorial: análisis del proceso de intensificación agraria en la cuenca del área protegida Esteros de Farrapos, Uruguay; *Rev. Bras. de Agroecologia*. 9(2): 30-43.
- Gaviño, M. Sarandón, R. (2000). El uso de indicadores ambientales y de intervención en la gestión ambiental”, *Actas del V Seminario Internacional Ingeniería y Ambiente*. La Plata 7 y 8 de Noviembre de 2000. Serie Gestión Ambiental N° 3. La Plata, Depto. de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería.
- Gaspari, F. *et al.* (2011). Vulnerabilidad Ambiental en Cuencas Hidrográficas Serranas Mediante SIG. *Revista Multequina* N° 20, pp 3 – 13.
- Grupo de Gestión Integral de Riesgo. (2011). Presentación del Grupo; disponible en <http://ggirudelar.blogspot.com/2011/09/presentacion-ggir.html>; Fecha de lectura: 20/05/2015
- Gómez, J. (2001). Vulnerabilidad y Medio Ambiente. Seminario Internacional Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para la América Latina y el Caribe; Santiago de Chile.
- Gudynas, E. (1999). Concepciones de la Naturaleza y Desarrollo en América Latina; *Persona y Sociedad*, 13 (1): 101-125.
- Lepsch, F. *et al.* (1991). Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso; 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1991, 175p.
- Linstone, A. *et al.* (2002). The Delphi method, techniques and applications, Addison wesley publishing.
- Liao, X. Li, W. Hou, J. (2013). Application of GIS based ecological vulnerability evaluation in environmental impact assessment of master plan of coal mining areas. *Procedia Environmental Sciences* 18, 271 – 276; Elsevier.
- Luers, A. (2003). The Surface of Vulnerability: An Analytical Framework for Examining Environmental Change. *Global Environmental Change*. Vol 15. pp 214 – 223.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. (1994). Carta digital de Grupos CONEAT. Escala 1:40000. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca – Dirección Nacional de Recursos Naturales Renovables. Montevideo.
- Millennium Ecosystem Assesment. (2003). Ecosistema y Bienestar Humano, Marco para la Evaluación; Informe del Grupo de Trabajo sobre Marco Conceptual de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio disponible en: <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.3.aspx.pdf>
- Moran, P.A.P, (1948). “The interpretation of satstistical maps”; *Journal of the Royal Statistical Society B*, v.10, 243-251 p.
- Naciones Unidas; Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. (2008). La Gestión del Riesgo de Desastres Hoy; Glosario de Términos; disponible en: <http://www.eird.org/gestion-del-riesgo/>
- Pathak, R. Hiratsuka, A. (2011). An integrated GIS based fuzzy pattern recognition model to compute groundwater vulnerability index for decision making / *Journal of Hydro-environment Research* 5, 63e77

- 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 Guadamar (proyecto SITCOVER). X Congreso del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (10º. 2002).
- Reboratti, C. (2000). Ambiente y Sociedad. Mundo Agrario, vol. 1, n° 1, segundo semestre.
- REDES Amigos de la Tierra. (2013). Crecimiento de la Agricultura y el Uso de Agrotóxicos en el Uruguay.
- Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Paisaje Protegido Valle del Lunarejo. extraído en 2016 desde <http://www.mvotma.gub.uy/areas-protegidas/item/10006534-paisaje-protegido-valle-del-lunarejo-rivera.html>
- Smith, L. (2002). A tutorial on Principal Components Analysis. Universidad de Otago; Nueva Zelanda.
- SPSS: Guía para el análisis de datos. Extraído de http://www.uclm.es/actividades0607/especialista/investigacion_social/spss/Gu%C3%ADa%20SPSS.pdf
- 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.
- 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, No. 3, pp. 335–348.

11. Anexos

11.1. Vulnerabilidad Ambiental en el “Paisaje Protegido Valle del Lunarejo”

A partir del presente trabajo, se propuso abordar la situación particular del área protegida existente en la cuenca del Arroyo Lunarejo, llamada “Paisaje Protegido Valle del Lunarejo”, ingresada al Sistema Nacional de Áreas Protegidas en el año 2009.

En este sentido, se elaboró el trabajo titulado “Tensiones entre Conservación y Producción. Vulnerabilidad Ambiental y Ecología en el Paisaje Protegido Valle del Lunarejo, Rivera, Uruguay”, en co autoría con Marcel Achkar y Mario Clara.

En el mismo y a partir del modelo de vulnerabilidad creado para la cuenca, se buscó exponer situaciones de tensión entre políticas orientadas a la conservación por un lado, y al desarrollo de la actividad productiva por el otro (para esta zona en particular, la actividad forestal), que coinciden en el territorio.

Para esta escala de trabajo, el análisis de componentes principales demostró que gran parte del proceso de intensificación que configura la variable “Amenaza” para la zona ocurrió en el período 2005 – 2015⁵, período previo a las definiciones de área de conservación departamental y su ingreso al SNAP en el año 2009.

El modelo permitió entonces exponer esta situación, además de mostrar la variación espacial de la vulnerabilidad en el área específica del paisaje protegido.

El mencionado trabajo fue presentado en la “Reunión Anual de la Sociedad Ecológica para Alemania, Austria y Suiza” (*Annual Meeting of the Ecological Society of Germany, Austria and Switzerland*), realizada en la ciudad de Marburg, estado federado de Hessen, Alemania.

⁵ Este resultado difiere al obtenido para el análisis de toda la cuenca, donde claramente el proceso de intensificación se da entre los años 1995 y 2005.

Modelo de Vulnerabilidad Ambiental Paisaje Protegido "Valle del Lunarejo"

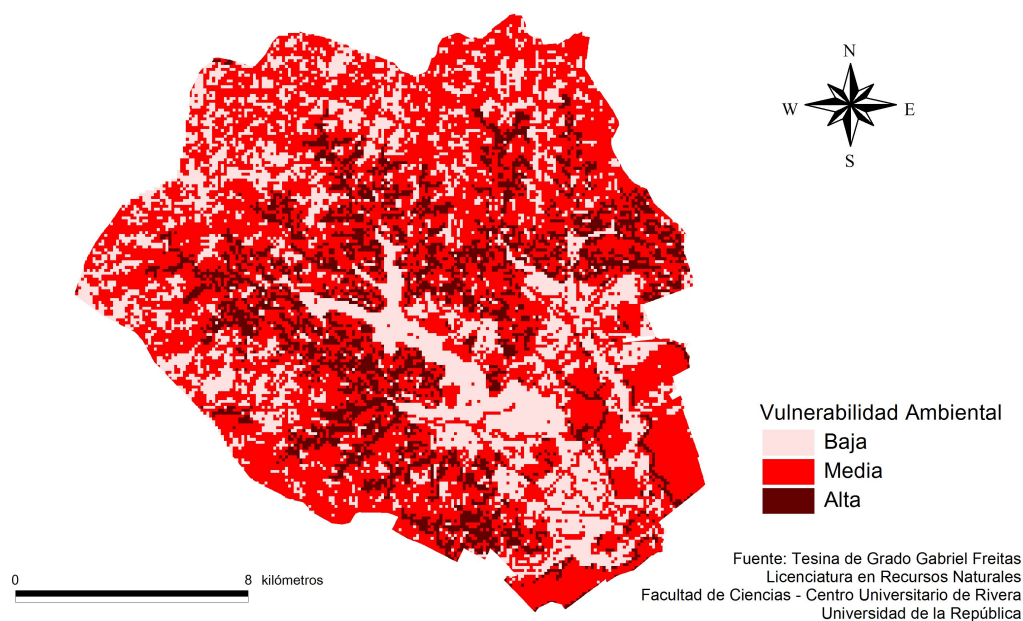


Figura N° 25: Modelo de Vulnerabilidad Ambiental para el Paisaje Protegido "Valle del Lunarejo".
Elaboración; Freitas, 2016

El trabajo presentado generó interés en distintos equipos de investigadores, lo cual permitió la posterior realización de reuniones específicas de trabajo, evaluando la posibilidad de interacción del modelo propuesto con otros abordajes sobre diagnóstico y gestión del territorio.