



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE CIENCIAS

**Tesina para optar por el grado de Licenciado en Ciencias Biológicas**  
**Orientación: Ecología**

**COMPARACIÓN DE CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO EN EL  
PAISAJE PROTEGIDO QUEBRADA DE LOS CUERVOS Y SU  
RESPECTIVA ZONA ADYACENTE**

FLORENCIA BALAY D'AGOSTO

Orientador: Dr. Álvaro Soutullo. Departamento de Ecología y Gestión Ambiental,  
Centro Universitario Regional del Este (CURE- UdelarR).

Co-orientador: MSc. Lucía Bartesaghi. División Sistema Nacional de Áreas  
Protegidas (SNAP), Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA/MVOTMA).

Montevideo, Uruguay

Marzo de 2018

## **Agradecimientos**

A mis tutores, Álvaro y Lucía, por haber aceptado el desafío de orientarme a distancia, por haber confiado en la propuesta y no haber dudado un segundo de mi, siempre alentado en los momentos que más lo necesitaba.

A la Facultad de Ciencias por todos estos años de aprendizaje, tanto académico como humano. Por todas las oportunidades brindadas (haber viajado a la Antártida es un sueño cumplido!) y por todas las personas lindas que puso en mi camino.

A mi familia, por su infinito apoyo, por siempre bancar y apoyar mis decisiones, aún cuando ello implica vivir en otro país. Por sus charlas, consejos, aliento y, especialmente, por su confianza. Sin ellos no podría estar donde estoy.

A los amigos, los de siempre y los de ahora, por siempre estar ahí, compartiendo y apoyando. Pero especialmente a Marti, esa amiga loca que hace 15 años viene bancando mis idas y vueltas, siempre escuchando, orientando y compartiendo.

A las Barajas del corazón, el mayor regalo que me dio esta facultad. Compañeras de la vida con quienes compartí estos últimos 6 años de alegrías, tristezas, miedos, crisis, dudas, pero por sobre todo, amor.

A todos ellos, gracias!

## ÍNDICE

Agradecimientos .....	1
Índice .....	2
Lista de tablas y figuras .....	4
<b>Resumen .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.1. Cambio en el uso de suelo a nivel global .....	7
1.2. Cambio en el uso de suelo en Uruguay .....	9
1.3. Áreas Protegidas como alternativas de gestión territorial .....	13
1.4. Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) en Uruguay .....	15
1.5. Monitoreo .....	18
1.6. Objetivo general .....	20
1.7. Objetivos específicos .....	20
<b>2. ÁREA DE ESTUDIO .....</b>	<b>21</b>
2.1. Ubicación y geografía del área .....	21
2.2. Unidades ambientales .....	23
2.3. Fauna y flora .....	25
2.4. Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos (PPQC) .....	26
2.4.1. Objetivos de conservación .....	27
2.4.2. Zonificación del área .....	28
2.5. Zona adyacente .....	31
2.6. Zona de influencia .....	31
2.7. Aptitud general de uso de la tierra .....	32
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>34</b>
3.1. Diseño metodológico .....	34
3.2. Obtención de imágenes .....	35
3.3. Corrección de imágenes .....	36
3.4. Clasificación de la cobertura .....	38
3.5. Matriz de confusión .....	39
3.6. Matriz de transición .....	39
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>41</b>
4.1. Categorías de cobertura de suelo .....	41
4.2. Mapas de uso del suelo .....	47
4.3. Matrices de confusión .....	49

4.4.	Matrices de transición .....	50
4.4.1.	1999-2009 .....	50
4.4.2.	2009-2015 .....	51
4.4.3.	Tasas de cambio e índice de efectividad .....	53
4.4.4.	Usos del suelo .....	54
<b>5.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>57</b>
5.1.	Metodología .....	57
5.2.	Dinámica de la cobertura .....	58
5.2.1.	Primera transición (1999-2009) .....	59
5.2.2.	Segunda transición (2009-2015) .....	59
5.2.3.	Aptitud del suelo .....	60
5.2.4.	Aumento de la actividad forestal .....	60
5.3.	Insumos para el SNAP .....	61
5.4.	Estudios de la región .....	62
5.5.	Efectividad de las áreas protegidas .....	63
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>63</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>74</b>
	<b>Anexo I.</b> Matrices de confusión de las tres clasificaciones de cobertura (1999, 2009 y 2015). La diagonal en azul representa los aciertos de cada categoría. ....	74
	<b>Anexo II.</b> Matrices de transición: <b>a.</b> 1999-2009 y <b>b.</b> 2009-2015. Cobertura (en hectáreas y porcentaje) de cada clase (Natural y Antrópico) en cada año y en las tres zonas de estudio (AP, ZA y ZI). Se detalla la tasa de cambio ( $\Delta$ ) correspondiente a cada período, también en hectáreas y porcentaje. ....	75

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Zonificación del Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, detallando localidad, objetivo, manejo y actividades permitidas y denegadas de cada zona. ....	29
<b>Tabla 2.</b> Características de los satélites Landsat 5 y Landsat 8. ....	36
<b>Tabla 3.</b> Exactitud promedio (con desviación estándar) de cada categoría de uso del suelo .....	50
<b>Tabla 4.</b> Superficie ocupada por categoría y por año, en hectáreas (ha) y porcentaje (%), en el área protegida <b>(a)</b> , la zona adyacente <b>(b)</b> y la zona de influencia <b>(c)</b> . ....	51
<b>Tabla 5.</b> Cobertura natural y antrópica (en hectáreas) para cada zona (AP, ZA, ZI) en los tres años evaluados. ....	53
<b>Tabla 6.</b> Valores asignados a cada una de las variables ( $S_1$ , $S_2$ , $S_t$ y T) en las tres zonas, durante el período 2009-2015 (posterior al ingreso al SNAP). ....	53
<b>Tabla 7.</b> Aptitud del suelo del área protegida, zona adyacente y zona de influencia. Se detalla el porcentaje ocupado por las clases Pastoril-Forestal (PF), Agrícola-Pastoril/Pastoril (AP_P) y Reserva (R). ....	54
<b>Tabla 8.</b> Cobertura natural y antrópica (en hectáreas) para cada zona (AP, ZA, ZI) en los tres años evaluados, discriminando por aptitud de uso del suelo: (a) PF, (b) AP_P y (c) R. ....	55

## FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio, Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, Departamento de Treinta y Tres, Uruguay. Imagen obtenida a partir de Google Earth Pro (2017). ....	22
<b>Figura 2.</b> Área de estudio. Se identifican los límites de las tres zonas: (1) Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, (2) zona adyacente y (3) zona de influencia. Imagen obtenida a partir de Google Earth Pro (2017). ....	23
<b>Figura 3.</b> Mapa de zonificación del Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos en vigor desde el 2010. ....	30
<b>Figura 4.</b> Mapa de aptitud general de uso del suelo correspondiente al área de estudio. Incluye las clases AP_P (agrícola pastoril/pastoril), R (reserva) y PF (pastoril forestal). ....	33
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo sobre el diseño metodológico del trabajo. ....	35
<b>Figura 6.</b> Visualización del área de estudio en las tres fechas (1999, 2009 y 2015) en	

color natural (imágenes de la izquierda) y en falso color (imágenes de la derecha). .....	37
<b>Figura 7.</b> Afloramiento rocoso intercalado entre los pastizales. A la izquierda se observa la cobertura obtenida a partir de Google Earth Pro, y a la derecha, el mismo parche visualizado en falso color, a partir de la imagen satelital Landsat 8. ....	41
<b>Figura 8.</b> Arroyo Yermal Grande rodeado por bosque y describiendo un meandro (imagen superior izquierda). Lagos intercalados entre pastizal y afloramientos rocosos (imagen inferior izquierda); se advierte la dificultad de su visualización al no presentar un gran contraste con el paisaje. Las imágenes de la derecha representan las mismas coberturas en combinación falso color, con los cuerpos de agua destacados en color azul. ....	42
<b>Figura 9.</b> Extensión boscosa acompañando el curso de agua con la formación de meandros. Hacia afuera se observan también superficies de matorral y pastizal. En la imagen falso color de la derecha se observa el mismo sector de bosque en un destacado color rojo, siendo atravesado por el cuerpo de agua representado por un intenso azul.....	43
<b>Figura 10.</b> Área de cultivo notoriamente delimitada y de color verde intenso (de aspecto artificial), apreciándose inclusive los canteros de cultivo (producto del arado de la tierra) (imagen izquierda). Generalmente existe una vivienda próximo a las zonas de cultivo que, en este caso, puede apreciarse en el margen inferior derecho de la parcela. La misma área de cultivo se visualiza de color magenta en la combinación falso color (imagen derecha). ....	43
<b>Figura 11.</b> Plantación forestal en los márgenes del bosque y curso de agua (imagen izquierda). Se observa un parche claramente delimitado con varios senderos por dentro. La misma plantación se visualiza de color bordó en la imagen falso color (imagen derecha). ....	44
<b>Figura 12.</b> Parte del camino de balastro que atraviesa el área protegida, en color tierra (imagen superior izquierda). En la figura inferior izquierda se visualiza una zona muy clara (casi blanca) de infraestructura, en este caso caminos, construcciones y zonas aterradas. Ambas se representan de color celeste claro casi turquesa en las imágenes falso color de la derecha. ....	45
<b>Figura 13.</b> Matorral dispuesto por fuera de las galerías de bosque, adoptando un color verde amarronado, y asomando el suelo por debajo (imagen izquierda). La misma cobertura se visualiza de color verde vivo, por fuera de los bosques de color rojo (imagen derecha). ....	46
<b>Figura 14.</b> Pastizal en varias tonalidades de verde, con algunos afloramientos rocosos asomando y quebradas con cuerpos de agua que en ocasiones forman pequeños	

humedales que se visualizan en una tonalidad más oscura (imagen izquierda). En la combinación falso color, el pastizal se advierte de color rosado piel, con las nevaduras en tono celeste (imagen derecha). .....	46
<b>Figura 15.</b> Parcela de suelo desnudo con marcados límites y de color tierra (imagen izquierda). En falso color es representada por un fuerte tono celeste, lo que facilita su identificación (imagen derecha). .....	47
<b>Figura 16.</b> Mapas de uso del suelo del área de estudio correspondientes a los tres años analizados (1999, 2009 y 2015). Se indican los límites del área protegida, la zona adyacente y la zona de influencia. ....	48
<b>Figura 17.</b> Porcentaje de superficie natural en el área protegida (AP), zona adyacente (ZA) y zona de influencia (ZI) a lo largo del tiempo. ....	49
<b>Figura 18.</b> Porcentaje de cobertura natural en las categorías de uso del suelo (AP_P, R y PF) en los años 1999, 2009 y 2015. ....	57

## **Resumen**

El cambio en el uso del suelo, especialmente en el ecosistema de pastizal, se ha intensificado en los últimos años debido principalmente a los avances de la agricultura (plantaciones forestales y cultivos agrícolas) y la ganadería. El análisis multitemporal se ha convertido en este tiempo en una herramienta muy utilizada para detectar cambios en el uso del suelo y la vegetación, así como la efectividad de áreas protegidas en evitar o atenuar dichos cambios. En el presente trabajo se comparó la transformación de cobertura natural dentro de un área protegida (AP) de Uruguay, el Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos (PPQC), y su zona adyacente (ZA), como una aproximación a la evaluación de la capacidad del AP de disminuir las presiones que las actividades generan sobre la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Los cambios en el uso del suelo fueron detectados mediante la clasificación no supervisada (método IsoData) de tres imágenes satelitales Landsat TM (1999, 2009 y 2015) de resolución espacial de 30m, comparando así el período previo y posterior a su ingreso al SNAP (2008). A modo de control se realizaron los mismos cálculos para su zona de influencia (ZI) (área sin restricción alguna). Se calcularon y compararon las tasas de cambio en cada una de las tres zonas de estudio y se analizaron las transformaciones ocurridas en las mismas. Los resultados mostraron que la tasa anual de cambio de uso del suelo fue cuatro veces menor dentro del AP que en la ZA, y veinte veces menor que en la ZI, con diferencias significativas en la proporción de coberturas naturales entre las tres zonas en los tres años analizados. Dichas diferencias se mantuvieron incluso cuando los cambios fueron analizados por aptitud del suelo. Las principales transformaciones se vieron asociadas a los suelos de aptitud pastoril forestal (PF) y se debieron al avance de las plantaciones forestales y los cultivos agrícolas a expensas de la cobertura de pastizal. Los resultados sugieren que tanto la declaración del área protegida como la delimitación de su zona adyacente ejercen una influencia sobre el territorio, disminuyendo y en ocasiones impidiendo los cambios en el uso del suelo, contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Cambio en el uso de suelo a nivel global**

Los usos del suelo han variado a lo largo del tiempo y espacio, transformando una gran porción de la superficie terrestre del planeta (Foley et al. 2005). Se han vuelto especialmente intensas a partir de 1850, momento en que las superficies de tierras de



cultivo aumentaron rápidamente, reduciendo en gran medida el área de los ecosistemas naturales (Palomo et al. 2014).

Muchas de estas prácticas de uso del suelo son absolutamente esenciales para la humanidad, ya que proporcionan los recursos naturales para abastecer las necesidades humanas inmediatas. Las prácticas modernas están aumentando la producción y el suministro de bienes materiales a corto plazo, pero están también degradando las condiciones ambientales, generando pérdidas de los ecosistemas y sus respectivos servicios ecosistémicos a largo plazo, tanto a escala regional como global (Foley et al. 2005).

Existe evidencia de que determinados usos del suelo modifican los ecosistemas, generan cambios en la composición atmosférica y en el clima regional, y disminuyen la biodiversidad mediante la pérdida, modificación y fragmentación de hábitats (Foley et al. 2005). En el último tiempo la agricultura se ha modernizado aumentando la producción de alimentos, a costas del uso de cultivos de alto rendimiento, fertilizantes químicos y pesticidas, así como la mecanización y el riego, lo que ha causado graves daños al medio ambiente (Foley et al. 2005). En los últimos 50 años, el área de las tierras de cultivo de regadío del mundo prácticamente se duplicó, mientras que el uso mundial de fertilizantes se incrementó en un 500%. De acuerdo con la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas, hoy en día la agricultura en su conjunto ocupa alrededor del 38% de la superficie terrestre, lo que la convierte en el mayor uso de la tierra en el planeta, con una redistribución neta de tierras agrícolas hacia los trópicos. Esta expansión agrícola ya ha convertido, a nivel mundial, el 70% de los pastizales, el 50% de la sabana, el 45% del bosque templado caducifolio y el 27% del bioma de bosques tropicales (Foley et al. 2011; Barnosky et al. 2012).

Los enfoques convencionales de la agricultura intensiva, especialmente el uso intenso o poco eficiente de riego y fertilizantes, han sido las principales causas de la degradación del medio ambiente. La agricultura intensiva, no sólo representa un preocupante 85% del consumo mundial de agua dulce, sino que también altera el clima regional mediante cambios en la radiación neta y en el equilibrio de agua. La vegetación natural, en especial los bosques, cumplen una importante función en el control de la erosión de los suelos, y con su eliminación se aumenta la escorrentía superficial y la descarga de los ríos. Se ha visto que en las zonas tropicales el uso del suelo modifica el balance de agua, mientras que en zonas templadas el mismo genera cambios en el balance de radiación de superficie. Por lo que se espera que cambios a larga escala generen climas

más calientes y secos en el trópico, y climas más fríos en las zonas templadas (Foley et al. 2005; Foley et al. 2011).

Cabe destacar también que a nivel mundial, sólo el 62% de la producción de cultivos es destinada a la alimentación humana. Un 35% está destinado a la alimentación animal y otro 3% a la bioenergía, semillas y otros productos industriales. Resulta también preocupante el hecho de que un gran volumen de comida (un tercio de los alimentos producidos, según la FAO) nunca se consume, sino que se desecha, degrada o es consumido por las plagas a lo largo de la cadena de suministro (Foley et al. 2011).

Actualmente se considera que alrededor de un 50% de la superficie terrestre ha sido modificado por acciones antrópicas directas, principalmente a través de la sustitución de sistemas naturales por sistemas agrícolas o urbanos. En la región templada de Sudamérica los principales cambios en los usos del suelo están dados por la sustitución de praderas naturales por cultivos y forestación (Achkar et al. 2011). El consumo de madera (para celulosa, compensados y chapas) ha aumentado conjuntamente con el crecimiento de la población mundial, y eso ha llevado a la implantación de especies de rápido crecimiento (como el eucalyptus) para nivelar el ritmo de demanda (Lima 1996). El uso mundial de papel creció un 454% entre los años 1961 y 2005, lo que ha transformado actualmente a la fabricación de pulpa y de papel en uno de los sectores industriales más importantes en el mundo (Altesor et al. 2008). A su vez, ha habido una migración de la cadena agro-industrial de pulpa, del hemisferio norte al hemisferio sur, debido a varias ventajas que incluyen, entre otros, requisitos ambientales más bajos, mayores rendimientos, mayor disponibilidad de materia prima y suelos más apropiados (Céspedes-Payret et al. 2009).

Los actuales modelos sugieren que para el año 2100, las presiones sobre la biota seguirán aumentando, al tiempo que la población mundial siga aumentando, consumiendo recursos y energía (Barnosky et al. 2012). Por tal motivo, las sociedades se encuentran hoy en día frente al desafío de desarrollar estrategias sustentables que mantengan los beneficios sociales y económicos, pero que reduzcan, a su vez, los impactos ambientales negativos del uso de la tierra (Foley et al. 2005).

## **1.2. Cambio en el uso de suelo en Uruguay**

La vegetación herbácea de Uruguay forma parte de la llamada Provincia Pampeana que abarca gran parte de la cuenca del Río de la Plata. El Distrito Uruguayense, ubicado dentro de esta Provincia, incluye gran parte del territorio uruguayo, el sur de Brasil y parte de la región oriental de Argentina, abarcando una superficie de aproximadamente 400.000 km<sup>2</sup> (Céspedes-Payret et al. 2009). Cabe destacar que los pastizales templados son uno de

los tres biomas más amenazados a nivel mundial, siendo a su vez la ecorregión que menos superficie protegida presenta (sólo el 3,4% se encuentra protegido dentro de reservas) (Suárez-Pirez y Soutullo 2013).

Estas pampas templadas han sido desde el siglo XVII destinadas principalmente al uso ganadero, particularmente el ganado bovino. Posteriormente, con la introducción de la ganadería ovina en el siglo XIX, disminuyó el estado de preservación de esos pastizales pampeanos en la Cuenca del Río de la Plata y de su suelo asociado, generando modificaciones y procesos de degradación en el sistema. En las últimas décadas Uruguay ha experimentado cambios en el uso y la cobertura del suelo debido principalmente a cambios en las políticas económicas, agrícolas y forestales, que han dado lugar a una importante expansión de la actividad agropecuaria intensiva (fundamentalmente forestación y soja) (Céspedes-Payret et al. 2009; Achkar et al. 2011; Redo et al. 2011).

La producción animal ha sido parte importante de la economía uruguaya desde la introducción del ganado europeo. Sin embargo, en la última década la producción de cultivos ha ganado un gran desarrollo en la economía del país. Algunos de los tradicionales rubros cerealeros (maíz, girasol, trigo, cebada, avena, sorgo) orientados a satisfacer la demanda interna, han sido desplazados territorialmente en forma progresiva por nuevos rubros, como lo son los cultivos forestales de rápido crecimiento, los cultivos transgénicos (soja y maíz) y la expansión de la frontera agrícola arroceras (Achkar et al. 2006). Hoy en día, los principales cinco cultivos que existen en Uruguay (de acuerdo a la superficie cosechada) son: soja, trigo, arroz, cebada y maíz (Redo et al. 2011).

Si bien la soja no ha sido históricamente un cultivo importante en Uruguay, entre los años 2000 y 2009 el país experimentó un fuerte proceso de expansión agrícola, con un auge en la producción de soja (Arbeletche & Carballo, 2008-2009), superando al trigo como el cultivo más dominante. Esto puede atribuirse a los bajos precios de las tierras agrícolas en Uruguay (en relación a las Argentinas) y a que no existen restricciones jurídicas para adquirirlas bajo régimen de propiedad como sociedades anónimas. También influye la falta de impuestos de exportación en Uruguay y los altos impuestos en Argentina (país vecino que controla más de la mitad de la producción sojera en Uruguay). Sin embargo, resulta importante destacar que la extensión del monocultivo sojero está causando impactos ambientales afectando a los ecosistemas naturales. La desestructuración de los suelos está produciendo modificaciones en su estructura físico-química, así como una disminución en el contenido de materia orgánica y una importante pérdida de nutrientes. Está aumentando la erosión, reduciéndose la infiltración y la capacidad de retención de agua en los suelos. Debe considerarse también, la contaminación de los recursos hídricos superficiales y la

alteración en la calidad de las aguas subterráneas debido al uso excesivo de agrotóxicos (Achkar et al. 2006; Redo et al. 2011).

Además de los cultivos, las plantaciones de árboles exóticos constituyen otra importante categoría de uso del suelo en la región pampeana de la que Uruguay forma parte (Redo et al. 2011). Los monocultivos forestales a gran escala aparecieron en Uruguay luego de la aprobación de la Ley Forestal 15.939 en 1987, que declaró como “suelos de prioridad forestal” el 20% del territorio nacional. Esto significó una recategorización que generó que suelos que no eran de prioridad forestal, pasaran a ser considerados como tales (Melo 2015), determinando la inmediata valorización de tierras hasta entonces consideradas marginales desde el punto de vista productivo y por ende con un bajo valor de mercado (Alvarado 2005). Esto llevó a que en los últimos años, la forestación haya sido la actividad del sector primario de la economía con mayor impulso en el país, convirtiendo al Uruguay en un país forestal emergente en el escenario económico global, reemplazando la agricultura y ganadería poco rentable, con plantaciones para exportación de pulpa de madera a Europa (España, Noruega, Finlandia y Portugal). Para ello se proporcionaron incentivos financieros como subsidios, bonificaciones y préstamos a los inversores (de manera articulada con el sector privado exportador) (Carrasco-Letelier et al. 2004; Achkar et al. 2006; Céspedes-Payret et al. 2009; Redo et al. 2011) y se aprobó la Ley de Zonas Francas 15.921, para la creación de zonas donde pudieran desarrollarse actividades industriales con las exenciones tributarias, a fin de promover nuevas inversiones y expandir las exportaciones (Alvarado 2005).

Las plantaciones a gran escala, en conjunto con el crecimiento de las actividades agrícolas, han contribuido en la reducción de la cobertura herbácea del país, la cual pasó de ser un 77% de la superficie de Uruguay en el 2001, a un 62% en el 2011 (reducción del 15%) (Carrasco-Letelier et al. 2004; Achkar et al. 2006; Céspedes-Payret et al. 2009; Redo et al. 2011). Cabe destacar que hasta el año 1975 el área de los monocultivos forestales era inferior a las 2.500 hectáreas, y en un período de tres décadas (1975 - 2005) presentó un incremento de un 2.857%. Esto generó una importante transformación en el uso del suelo rural (tradicionalmente pecuario agrícola), representando a su vez la tasa de forestación más alta en toda América Latina (Ortiz et al. 2005).

Las especies más comúnmente utilizadas son el *Eucalyptus grandis* (goma inundado), *Eucalyptus globulus* (eucalipto azul) y *Pinus taeda* (pino taeda) (Redo et al. 2011). Los resultados de los Censos Agropecuarios de los años 1980, 1990, 2000 y 2011, mostraron que la superficie plantada con bosques artificiales fue de 180 mil, 186 mil, 661 mil y 1 millón de hectáreas respectivamente. Esto indica que en el período 1990-2000, la misma

aumentó 3,5 veces, lo que se traduce en un pasaje de 1,2% de superficie total del territorio en el año 1990 a un 4% en el año 2000, con una tasa de crecimiento de 70.000 hectáreas anuales (Martín 2003; Achkar et al. 2006). A su vez se registró que del 2008 al 2011, la superficie de plantación forestal aumentó alrededor de 40 mil hectáreas, lo que representa una inversión anual estimada de 48 millones de dólares (FAO 2016). El censo agropecuario realizado en el año 2000 también mostró que del total de las plantaciones, el 81% corresponde a eucaliptos y el 17% a pinos, siendo a su vez, el 20% de las plantaciones con fines de protección (de suelos y aguas) y el restante 80% con fines industriales. La elección de estas especies se justifica con su rápido crecimiento y adaptación a diferentes regímenes de agua y suelos, características que han llevado a que el incremento de la forestación haya sido muy notorio a partir de la fecha en que se reglamentó la ley (Sicardi et al. 2005; Achkar et al. 2006).

Existe una cantidad considerable de conocimientos científicos que afirman que la forestación de pastizales conduce a una alteración de las propiedades físico-químicas del suelo original y una disminución en el rendimiento del agua, causando un fuerte impacto negativo sobre la biodiversidad (Céspedes-Payret et al. 2009). Estudios realizados utilizando microorganismos del suelo y sus actividades como indicadores para diagnosticar la calidad del suelo e impactos en los ecosistemas, han demostrado que la conversión de pasturas naturales a plantaciones forestales con fines comerciales modifica la biomasa microbiana, la respiración del suelo y el coeficiente de mineralización del Carbono orgánico (Sicardi et al. 2005), con una significativa reducción (0,68%) de la materia orgánica acumulada en el suelo de los pastizales (Sicardi et al. 2005; Céspedes-Payret et al. 2009), lo que se traduce en una alteración negativa de las reservas de carbono bajo las plantaciones de *Eucalyptus sp.* (Carrasco-Letelier et al. 2004). Esto resulta de gran relevancia si consideramos el rol fundamental que presentan los suelos como principales sumideros de carbono, acumulando el 75% del carbono orgánico total del planeta (Céspedes-Payret et al. 2009). También ha sido observado en suelos bajo cultivos de *E. grandis*, una alteración mineralógica de la illita, una arcilla de gran importancia en el reservorio de potasio de los suelos agrícolas (Céspedes-Payret et al. 2012). A su vez, el eucalipto presenta una mayor demanda de humedad que los ecosistemas de pastizales, por lo que su introducción genera cambios en el ciclo hidrológico de la cuenca. Se ha evidenciado que la forestación tiene un consumo de agua y cationes (principalmente,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ ) 30% más altos que los pastizales originales, generando la acidificación del suelo y del agua de escorrentía (Céspedes-Payret et al. 2009), lo que constituye un cambio irreversible en la evolución de los suelos (Gutiérrez y Panario 2014).

Los principales cambios ocurridos en el sector agrícola y forestal de Uruguay en las últimas décadas, ha significado importantes transformaciones socioeconómicas y ambientales, que sugieren la necesidad de una intervención por parte del Estado para asumir los costos de las externalidades, como lo son la erosión, inundaciones, sequía, pérdida de nutrientes del suelo, control de plagas, entre otros (Achkar et al. 2006; Céspedes-Payret et al. 2009).

### **1.3. Áreas Protegidas como alternativas de gestión territorial**

Las áreas protegidas han surgido como la estrategia más ampliamente conocida y aceptada para la protección de los ecosistemas y conservación de la biodiversidad (Palomo et al. 2014). En el año 1948, se creó la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), que definió al área protegida como:

"un espacio geográfico claramente definido, reconocido, dedicado y gestionado, mediante medios legales u otros medios efectivos, para lograr la conservación de la naturaleza a largo plazo con los servicios ecosistémicos y valores culturales asociados" (Dudley 2008).

Las áreas protegidas son importantes no sólo para la conservación de la biodiversidad, sino también para el bienestar de la sociedad. Además de mantener los procesos ecológicos esenciales y preservar la diversidad de especies y su variación genética (Cifuentes et al. 2000), mantienen las capacidades productivas de los ecosistemas, ofreciendo un desarrollo sostenible y manteniendo la inmensidad de servicios ecosistémicos a partir de los cuales las comunidades se sustentan (alimentos, fibras, medicamentos, polinización de cultivos, protección frente a desastres naturales, etc.) (Suarez-Pirez y Soutullo 2013). Considerando que los ecosistemas presentan tres principales atributos interdependientes - composición, estructura y función - que determinan y constituyen la biodiversidad de un sitio, es necesario que las áreas protegidas contribuyan a mantener la composición y estructura de la naturaleza de la región en cuestión, así como asegurar la continuidad de los procesos que producen esas características. Sin embargo, hasta el momento las estrategias de conservación han colocado énfasis en evitar los cambios en la composición (ej, pérdida de especies o ecosistemas) de los sistemas naturales, lo que no evita la simplificación estructural de los mismos ni cambios en procesos importantes (Noss 1990; Soutullo 2006).

El enfoque de las áreas protegidas ha ido mudando a lo largo del tiempo. Fue en Estados Unidos donde se estableció, en 1872, el primer Parque Nacional del mundo,

conocido como Parque Nacional de Yellowstone (Achkar et al. 2010), creado principalmente con la finalidad de conservar las características geotérmicas y paisajísticas únicas allí presentes (Pullin 2002). Fue en Sudáfrica donde surgieron los parques con el fin prioritario de proteger la fauna local, dejando en segundo plano la conservación de las características paisajísticas (Tejera 2006). En América Latina, el modelo de parques nacionales como herramienta de la conservación de la biodiversidad, comenzó en Argentina con la creación de la primera Administración de Parques Nacionales del continente. En 1903 se creó el actual Parque Nahuel Huapi y en 1909 se delimitaron las áreas para la reserva en las cataratas del Iguazú, concretándose como Parque Nacional Iguazú recién en 1934 (Achkar et al. 2010). Sin embargo, luego de constatar que el aislamiento y la falta de conectividad colocaba bajo amenaza a las propias áreas protegidas, en la década de 1990 la conservación viró hacia la creación de corredores ecológicos y redes de conservación, fomentando el movimiento de especies entre las áreas. Finalmente, a partir de mediados del 2000, se propuso un enfoque de paisaje tomando en consideración el entorno de las áreas protegidas. Si bien éstas han demostrado eficacia protegiendo a los hábitats de los cambios de uso del suelo que ocurren fuera de las áreas, las mismas han demostrado tener algunas limitaciones como estrategias para la conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos a largo plazo (Palomo et al. 2014).

El aislamiento impide la conservación de la biodiversidad, ya que la misma no puede lograrse si las áreas protegidas están rodeadas de hábitats degradados que limitan el flujo génico, de nutrientes y de agua, desde y hacia el exterior. El sesgo de la ubicación también es una limitante. Las áreas protegidas son a menudo designadas en base a límites administrativos, y eso genera en ocasiones, la no inclusión de partes de la zona necesarias para mantener los procesos ecológicos y las poblaciones de organismos. Por último, existe una falta de conexión entre las áreas protegidas y la sociedad. El proceso de aislar las áreas protegidas restringe el acceso a varios servicios ecosistémicos (como aprovisionamiento, caza o recolección de leña) pudiendo crear también pobreza y conflictos sociales, pasando por alto el importante papel de las comunidades locales e indígenas en la gestión de los ecosistemas y la biodiversidad (Palomo et al. 2014).

Las áreas protegidas no sólo cumplen un rol de protección de la biodiversidad, también cumplen un rol importante en el mantenimiento de los servicios ecosistémicos que sustentan la base productiva de la región. Es importante entonces que las áreas y el sistema funcionen como unidades integradas, lo que implica que tanto el tamaño de las áreas como su configuración espacial deben ser apropiados para la escala a la que ocurren los procesos que se pretende proteger. Abordar a escala nacional la problemática

relacionada al deterioro de la biodiversidad de un país requiere el diseño coherente de un sistema nacional de áreas protegidas, que defina claramente qué problemas se pretende abordar, y en particular, qué objetivos se busca alcanzar (Soutullo 2006; Suárez-Pirez y Soutullo 2013).

Recientemente en el año 2008, se ha planteado un nuevo enfoque socio-ecológico para la planificación y gestión de áreas protegidas, incluyendo el valor intrínseco (conservación de la biodiversidad) y el valor instrumental (los servicios de los ecosistemas) de la naturaleza. La UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) ha incorporado el término servicios ecosistémicos a la definición de “área protegida”, reconociendo que los seres humanos dependen y se benefician de las áreas protegidas debido a los servicios ecosistémicos que las mismas ofrecen, incluyendo servicios de abastecimiento (alimento, agua, madera y fibra, combustibles), servicios de regulación (climática, de flujos hídricos, de enfermedades y plagas) y servicios culturales (estéticos, espirituales, educativos y recreativos) (Palomo et al. 2014; Altesor et al. 2008).

Estos nuevos programas de conservación basados en servicios ecosistémicos podrían atraer más apoyo social de lo que lo hacen los programas estrictos de conservación de la biodiversidad, así como fomentar la creación de nuevas áreas protegidas y ayudar a hacer frente a algunos de los desafíos que las áreas protegidas se enfrentarán en el futuro, pudiendo reducir también el problema del aislamiento (Palomo et al. 2014).

#### **1.4. Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) en Uruguay**

A partir del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) firmado en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro, Uruguay elaboró en 1999 su primera propuesta de Estrategia Nacional de Biodiversidad (ENB), constituyendo el primer instrumento para avanzar hacia la creación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas exigido por el CDB (MVOTMA/SNAP 2015). Poco después, en el año 2000, se aprueba la Ley N° 17.234, reglamentada en el 2005 por el Decreto N° 52/005, que declara de interés general la creación y gestión de un Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) como un instrumento adecuado de gestión del ambiente. El SNAP es definido como:

“un conjunto de áreas naturales del territorio nacional, continentales, insulares o marinas, representativas de los ecosistemas del país, que por sus valores ambientales, históricos, culturales o paisajísticos singulares merezcan ser preservadas como patrimonio de la nación, aún cuando hubieran sido transformadas parcialmente por el hombre” (Ley N° 17.234 2000).



Posteriormente, en el año 2010, fue elaborado el primer instrumento de orientación de la gestión del SNAP: el Plan de Mediano Plazo (PMP) 2010-2014, con la finalidad de guiar el desarrollo del sistema en su fase inicial (MVOTMA/SNAP 2015). Durante su elaboración, fueron establecidos una serie de objetivos de representación del SNAP, identificando elementos de la diversidad del país a nivel de paisajes, ecosistema y especies, que deberían estar representados en el sistema. A lo largo del período 2010-2013, fue generado un mapa de ambientes reconociendo 121 unidades diferentes; el país fue regionalizado en regiones ecológicas; fueron identificadas especies vulnerables al cambio climático; se actualizó la lista de especies prioritarias para la conservación en el país; y se elaboró una primera valoración de la contribución de los distintos ecosistemas del país a la provisión de una serie de servicios ecosistémicos (Suárez-Pirez y Soutullo 2013).

En el proceso de elaboración del Plan Estratégico 2015-2020 del SNAP, en el año 2012, se actualizó la visión y objetivos del SNAP previamente planteados en la elaboración del Plan de Mediano Plazo 2010-2014. La visión del SNAP pasó entonces a quedar definida como:

“Un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas integrado al territorio; manejado entre el Estado y la sociedad civil; que contribuye a la conservación de la biodiversidad; a la provisión de servicios ecosistémicos; al uso sustentable de los recursos naturales; que aporta al bienestar de los pobladores locales, y de la sociedad en general, y es reconocido como un pilar para la gestión territorial, el desarrollo sostenible y la protección del patrimonio natural y cultural del país”.

El SNAP funciona en base a un manejo con enfoque ecosistémico, que promueve la conservación y el uso sostenible de forma equitativa, manteniendo la integridad (estructura, funcionamiento y dinámica) y resiliencia de los ecosistemas, y reconociendo a los seres humanos como un componente integral de los mismos. Su gestión, a su vez, prioriza la prevención de daños y/o amenazas a los recursos naturales y culturales asociados, considerando fundamental el procedimiento de evaluación de impacto ambiental (EIA) en todos los proyectos que puedan afectar la integridad ecológica y la biodiversidad de las áreas protegidas del SNAP. Este manejo debe ser adaptativo con un programa de monitoreo continuo y respuestas flexibles, que evalúe el progreso hacia los objetivos fijados y analice estrategias alternativas. Así mismo, se debe influir en la dinámica de la matriz de ambientes antropizados que quedan por fuera del área, para asegurar, dentro de ella, la

persistencia del conjunto de elementos de la diversidad biológica que la componen. Resulta entonces una importante herramienta para la gestión del territorio el concepto de “zona adyacente” a las áreas protegidas. Éstas son zonas delimitadas por fuera del área, que contienen el territorio sobre el que se pretende que se extienda la influencia positiva del área protegida, y que constituyen el principal nexo de integración entre el área y el desarrollo local y regional (SNAP 2010). Es importante destacar, a su vez, que la conservación tiene una función socio-cultural, por lo que la gestión del SNAP se llevará a cabo con la cooperación y la responsabilidad compartida pero diferenciada de los diversos actores involucrados, y buscando conciliar el interés general con los derechos e intereses de los actores involucrados (Soutullo 2006; DINAMA / MVOTMA 2009).

Actualmente el SNAP cuenta con el ingreso de catorce (14) áreas protegidas, respondiendo por el cuidado y protección de 279.516 hectáreas que incluyen tanto superficies terrestres como marinas, lo que alcanza el 0,89 % del territorio nacional (MVOTMA). Dichas áreas son (en orden creciente de incorporación al SNAP):

1. Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos (Treinta y Tres) (2008)
2. Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay (Río Negro) (2008)
3. Parque Nacional Cabo Polonio (Rocha) (2009)
4. Paisaje Protegido Valle del Lunarejo (Rivera) (2009)
5. Paisaje Protegido Localidad Rupestre Chamangá (Flores) (2010)
6. Parque Nacional San Miguel (Rocha) (2010)
7. Paisaje Protegido Laguna de Rocha (Rocha) (2010)
8. Área de Manejo de Hábitats y/o Especies Cerro Verde e Islas de La Coronilla (Rocha) (2011)
9. Área de Manejo de Hábitats y/o Especies Rincón de Franquía (Artigas) (2013)
10. Monumento Natural Grutas del Palacio (Flores) (2013)
11. Área de Manejo de Hábitats y/o Especies Laguna Garzón (Maldonado - Rocha) (2014)
12. Área Protegida con Recursos Manejados Montes del Queguay (Paysandú) (2014)
13. Área Protegida con Recursos Manejados Humedales del Santa Lucía (Canelones, Montevideo y San José) (2015)
14. Área de Manejo de Hábitats y/o Especies Esteros y Algarrobales del Río Uruguay (Río Negro) (2015)

El conjunto de áreas protegidas de Uruguay dista mucho de conformar un sistema completo, representativo y bien administrado, por lo que el desafío para el país es

importante. Con menos del 1% del territorio nacional oficialmente protegido, Uruguay tiene el sistema menos desarrollado de la región. Sin embargo, si bien el SNAP es un sistema joven y pequeño, la representación actual de elementos significativos para la conservación es alta. A pesar de que este porcentaje de superficie protegida puede percibirse como pequeño, cabe destacar que, si bien el SNAP es un sistema público, las áreas se encuentran mayoritariamente en tierras privadas e incorporadas al uso humano (aproximadamente el 90% de la superficie terrestre del país es propiedad privada), lo que conduce a que el SNAP esté conformado por áreas relativamente pequeñas en comparación con otros sistemas nacionales de áreas protegidas (Soutullo 2006; SNAP 2015; MVOTMA/SNAP 2015).

La principal herramienta de gestión del SNAP para alcanzar los objetivos planteados a nivel nacional, consiste en la elaboración de planes de manejo para cada una de las áreas (SNAP 2015), lo que permite mejorar las estrategias de planificación y hacer más eficientes las acciones y programas de manejo (Cifuentes et al. 2000). Éstos consisten en conjuntos de acciones de carácter político, legal, administrativo, de investigación, de planificación, de protección, coordinación y educación, que dan como resultado el mejor aprovechamiento y la permanencia de un área protegida, así como el cumplimiento de sus objetivos (Cifuentes et al. 2000). Dicha elaboración es responsabilidad de la administración del área en cuestión y su aprobación corresponde al Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA). De las 14 áreas, únicamente el Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, el Parque Nacional Esteros de Farrapos e Islas del Río Uruguay, el Paisaje Protegido Valle del Lunarejo y el Paisaje Protegido Laguna de Rocha, cuentan ya con planes de manejo aprobados y en ejecución. Las restantes áreas presentan planes en proceso de elaboración con diverso nivel de avance, incluyendo algunos en vías de próxima aprobación oficial (SNAP 2015; MVOTMA).

### **1.5. Monitoreo**

A partir del momento en que un área se declara protegida, con objetivos y metas, resulta necesario definir e implementar sistemas de monitoreo para determinar las tendencias de la diversidad biológica en el espacio y el tiempo. De ese modo se consigue evaluar el estado de las amenazas, así como la eficacia de las acciones de manejo y las políticas de gestión que intentan alcanzar los objetivos planteados (Rao et al. 2009), promoviendo el mejoramiento de la administración del área (Mena & Artavia s.f.).

El monitoreo del área consiste básicamente en la recopilación de información sobre distintas variables, como por ejemplo, la tasa de pérdida de la cobertura de bosque o la

cantidad de vida silvestre cazada clandestinamente por mes, y es importante por varias razones. Por un lado, permite evaluar el estado de las amenazas y los objetivos de conservación, conociendo así si las amenazas disminuyen o aumentan y si las poblaciones silvestres aumentan, permanecen estables o disminuyen (Rao et al. 2009). Permite también evaluar el éxito o el fracaso de un plan de gestión en particular (Stab & Henle s.f.), y de esa forma, modificar o no las acciones de manejo, dependiendo de dónde y por qué se necesitan esfuerzos de conservación. Por último, permite informar y mejorar la práctica de la gestión a través de un proceso dinámico de gestión adaptativa (o manejo adaptativo) que implica tomar los resultados del monitoreo e integrarlos nuevamente en el diseño e implementación del proyecto (Rao et al. 2009).

La teledetección (o sensoramiento remoto) es una herramienta ampliamente utilizada para monitorear áreas protegidas, ya que permite identificar alteraciones en las áreas, conocer la extensión del hábitat y los patrones espaciales de la fragmentación. Consiste en la recolección e interpretación de información sobre objetos situados sobre la superficie terrestre, sin entrar en contacto directo con ellos, por lo que permite capturar información de gran escala y cuantificar las pérdidas, la degradación o la recuperación asociada a eventos o procesos específicos (Nagendra et al. 2013). Junto con los Sistemas de Información Geográficos (SIG), se han vuelto importantes herramientas para el estudio de la distribución y estado de la vegetación (evaluación de condiciones de estrés), así como también para numerosas aplicaciones en diversas áreas de estudio como, por ejemplo, la agricultura (por ej. para la determinación de áreas cultivadas), la geología, la hidrología y la oceanografía. Puede usarse para monitorear el uso de la tierra, para estudiar fenómenos erosivos, la calidad y turbidez del agua, para cartografiar la cobertura vegetal del suelo, para estudios de impacto ambiental o exploración mineral (Giménez & Castaño, 2012), entre otros.

Los antecedentes del uso de teledetección en Uruguay han variado, siendo el mapeo y monitoreo del uso de la tierra el más frecuentemente utilizado. Con el uso de imágenes satelitales el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca actualizó, en 2006, la carta forestal del Uruguay (Petraglia & Dell'Acqua, 2006); también fue realizado un atlas de cobertura del suelo del Uruguay bajo la responsabilidad del MVOTMA, compuesto por tres mapas (años 2011, 2008 y 2000) y un análisis de cambios para el período 2000-2011 (FAO 2015). Tesis de maestría en Ciencias Ambientales han utilizado el sensoramiento remoto para estudiar la evolución del Arroyo Valizas durante el período 1943-2006 (Fernández 2011) y para la elaboración de un mapeo de servicios ecosistémicos en la cuenca de la Laguna de Rocha como insumo para la planificación territorial (Nin 2013). En el propio

Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, ha sido utilizado para cartografiar los usos y coberturas del suelo con el fin de analizar el efecto del cambio en el uso del suelo sobre el funcionamiento de los ecosistemas y el nivel de provisión de algunos servicios ecosistémicos (Gallego 2013).

Entre las ventajas de dicha herramienta, se destaca su bajo costo y la rápida adquisición de la información. También permite el acceso a lugares a los que de otra forma no se podría acceder; proporciona una visión amplia de los espacios geográficos; permite obtener información sobre regiones no visibles del espectro (infrarrojo medio y térmico); y la calidad de las imágenes aumenta a medida que nuevos satélites son lanzados. Por otro lado, presenta algunas desventajas: los datos no son muestras directas de lo que se observa, por lo que deben ser contrastados con la realidad (matrices de confusión), también son difíciles de procesar y deben corregirse geométricamente; el procesamiento de datos lleva mucho tiempo y la interpretación de los mismos es difícil; existe la posibilidad de confundir fenómenos distintos si los datos parecen el mismo para el sensor; y la presencia de nubes bloquea la visualización (Giménez & Castaño, 2012).

#### **1.6. Objetivo General**

Comparar las tasas de cambio de uso del suelo del área protegida (AP) Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, su zona adyacente (ZA) y la zona de influencia (ZI), como una aproximación a la evaluación de la capacidad del AP de disminuir las presiones que las actividades generan sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que la misma busca conservar.

#### **1.7. Objetivos Específicos**

- Obj. específico 1: Comparar la transformación del uso del suelo entre el área protegida, su zona adyacente y la zona de influencia, entre los años 2009 y 2015.
- Obj. específico 2: Comparar las tasas de transformación en el área protegida a lo largo del tiempo, comparando los períodos 1999-2009 y 2009-2015 (i.e., antes y después de su incorporación al SNAP).
- Obj. específico 3: Evaluar si las diferencias eventualmente observadas en las tendencias de cambio en el uso del suelo dentro y fuera del AP, o en los distintos períodos analizados, son atribuibles a diferencias en la aptitud en el uso del suelo de los sectores de territorio potencialmente transformables.

## **2. ÁREA DE ESTUDIO**

### **2.1. Ubicación y geografía del área**

El área de estudio se compone de 84.600 hectáreas localizadas en la región Este del país, en el departamento de Treinta y Tres (Fig. 1). Dicha región corresponde a un área de sierras y lomadas que forma parte del grupo de quebradas del este uruguayo, un sistema de sierras que se extiende en forma de arco desde el sur de Uruguay hasta el sur de Brasil (Río Grande do Sul), conectando de este modo distintos ambientes y oficiando de corredor biológico para especies de fauna y flora (SNAP 2010).

Se caracteriza por presentar un relieve dinámico, fuertemente ondulado formando valles empinados que reciben el nombre de quebrada, con paredes rocosas de pendiente muy pronunciada (de 5 a 30%) o incluso verticales (MVOTMA 2013; MVOTMA s.f.), por donde circulan los cursos de agua (arroyos y cañadas). Éstos son a su vez bordeados por bosques serranos y distintos tipos de arbustales, conectándose con pajonales de alto porte hasta convertirse luego en pastizales de pasto corto, con la ocurrencia de afloramientos rocosos (Suárez-Pirez y Soutullo 2013).

La región está comprendida totalmente dentro de la cuenca de la Laguna Merín, cuenca binacional (compartida con Brasil) que constituye la segunda más grande del territorio nacional (la Cuenca del Plata ocupa el primer lugar), formando parte de la cadena de lagunas costeras que se extiende por la costa atlántica (Serrentino 2013). La hidrografía del área la constituyen principalmente los Arroyos Yermal (Grande, Chico y Yermalito), afluentes del Río Olimar (nace en la Cuchilla Grande y atraviesa el departamento de Treinta y Tres de Oeste a Este), el que a su vez drena sus aguas al Río Cebollatí, principal afluente de la Laguna Merín (MVOTMA s.f.). Todos estos arroyos se caracterizan por descender entre piedras y rápidos, rodeados de montes, formando pequeñas quebradas o grutas (Praderi y Vivo 1969).

En el presente trabajo, el área de estudio fue dividida en tres zonas: el Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos (1), su zona adyacente (2) y su zona de influencia (3) (Fig. 2). La comparación de las mismas permitió evaluar y comparar el cambio en el uso del suelo de origen antrópico en esta región del territorio nacional, debido al diferente grado de restricción que cada una presenta.



**Figura 1.** Ubicación del área de estudio, Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, Departamento de Treinta y Tres, Uruguay. Imagen obtenida a partir de Google Earth Pro (2017).



**Figura 2.** Área de estudio. Se identifican los límites de las tres zonas: (1) Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, (2) zona adyacente y (3) zona de influencia. Imagen obtenida a partir de Google Earth Pro (2017).

## **2.2. Unidades ambientales**

La formación de quebradas ha promovido la generación de un microclima particular con condiciones de gran humedad, poca luminosidad y protegido de los vientos, que permite la ocurrencia de un tipo de monte con características propias, con formas vegetales subtropicales y exuberantes cuya presencia no es habitual en Uruguay (MVOTMA 2013), lo que lo convierte en un sitio prioritario para la conservación (SNAP 2008). Se destacan los siguientes ambientes:

### ***Afloramientos rocosos***



Al formar parte de la región serrana, en el área es frecuente la aparición de afloramientos rocosos basálticos que aumentan la heterogeneidad a nivel local. Este ambiente, generalmente propio de sitios con pendiente fuerte, es habitado generalmente por especies de musgos y líquenes, así como arácnidos e insectos (Panario et al. 2011).

### **Bosque**

Existen en el área dos clases de bosque que se localizan junto al sistema fluvial: bosque de quebrada (mayor representación, caracterizado por vegetación exuberante de características arbóreas y arbustivas localizada en las zonas de mayor pendiente) y bosque de galería (o ribereño, menor representación, ubicado principalmente en las zonas bajas, en los márgenes de los cursos de agua) (SNAP 2008). A efectos de simplificar la clasificación, en el presente trabajo se han considerado como una única categoría. Entre las especies predominantes se destacan: Romerillo (*Heterothalamus alienus*) y Chirca de monte (*Dodonaea viscosa*) (parte superior de la quebrada); helechos y Pindó (*Syagrus romanzoffiana*, palmera característica de bosques ribereños y de quebrada (parte media) (Geymonat y Lombardi 2014); y especies con alto requerimiento de humedad a orillas de los cursos de agua (parte baja) (MVOTMA s.f.).

### **Cultivo**

En el área se cultiva soja destinado fundamentalmente a la exportación, cuyas plantaciones se localizan básicamente en las planicies bajas del departamento (OPP/OEA/BID 1992).

### **Forestación**

Debido a las características climáticas y al tipo de suelo, esta región es favorable para el desarrollo de eucalipto y pino, ambos cultivos para producción maderera (celulosa y sólida) destinada a la exportación (MGAP/DIEA 2003). Ambas especies exóticas invasoras (EEI), según la Base de datos de Invasiones Biológicas para Uruguay, InBUY (<http://inbuy.fcien.edu.uy/>).

### **Infraestructura**

Corresponde a las rutas y caminos departamentales, así como construcciones antrópicas y urbanizaciones. La ruta 98 (sentido sureste-noroeste) bordea el área al oeste y la ruta 8 (Brigadier General Juan Antonio Lavalleja, sentido sur-noreste) atraviesa el área en la

región sureste. En el km 306,70, la ruta 8 es atravesada por un camino vecinal de balastro que conduce a la Quebrada (23 km) y atraviesa al área protegida por el medio.

### ***Matorral***

Está conformado por asociaciones de tipo arbóreas y arbustivas de bajo porte (menos de 2 m de altura) y en parches poco densos. Generalmente está asociado a zonas de menor pendiente en relación a los bosques, ubicándose a veces entre medio de éste y el pastizal (SNAP 2008).

### ***Pastizal***

Es la unidad ambiental que constituye la mayor parte del área. Está dominada por un estrato herbáceo constituido principalmente por especies de gramíneas (“pastos”) (SNAP 2008) (parte superior de la sierra y en suelos de baja pendiente) y por extensos pajonales (MVOTMA s.f.). En zonas donde los suelos son muy superficiales (principalmente donde la perturbación antrópica alteró la composición de bosque o especies arbustivas), la matriz de vegetación de pastizal no consigue desarrollarse de forma continua generando así un tapiz ralo (SNAP 2008).

### ***Sistema Fluvial***

Compuesto por el cauce de los arroyos y lagunas asociadas (generalmente ubicadas en la planicie de inundación). Importante ambiente no sólo por conectar hábitats y transportar propágulos y organismos, sino también por sus funciones de protección del suelo y cuenca (SNAP 2008). En el presente trabajo se ubicaron bajo la categoría “agua o humedal”.

### ***Suelo desnudo***

Incluye los suelos arados destinados a cultivo, con remoción total o casi total de la cobertura natural, producto de intervenciones antrópicas (Bartesaghi y Soutullo 2010).

## **2.3. Fauna y flora**

La fauna del área es bastante diversa. En ella se han registrado 29 especies de mamíferos, entre ellos: zorro gris (*Pseudalopex gymnocercus*) (habitante de ambientes abiertos de praderas y pastizales), margay (*Leopardus wiedii*) (arborícola, de bosques maduros con altos y gruesos árboles), tatú de rabo molle (*Cabassous tatouay*) (habitante de bosques ribereños y campos) y gato del pajonal (*Leopardus braccatus*) (bosques con pajonal y matorrales con pastizal) (Geymonat y Lombardi 2014). También hay en el área 39

especies de peces; 21 de anfibios y 30 de reptiles. Las aves son el grupo más diverso, siendo que habitan allí 138 especies aproximadamente, nueve de las cuales son prioritarias para el SNAP. Se destacan los cuervos, quienes sobrevuelan el lugar constantemente dándole nombre a la quebrada (principalmente el de cabeza roja). Están presentes en sus tres especies: cabeza roja (*Cathartes aura*), cabeza amarilla (*Cathartes burrovianus*) y cabeza negra (*Coragyps atratus*) (Laufer et al. 2015).

También se encuentran en el área especies exóticas invasoras que han sido introducidas por el hombre, con fines cinegéticos y/o productivos, entre ellas el jabalí (*Sus scrofa*) y la cabra (*Capra hircus*) (SNAP 2008). El jabalí habita bosques, matorrales, pajonales y cultivos forestales (Geymonat y Lombardi 2014) representando una amenaza para dichos ambientes por causar una degradación de la cobertura vegetal (a través de las hozadas remueve la cobertura del suelo). Compite con especies de fauna nativa (mulita) y genera impacto sobre el ganado ovino de los productores. La cabra también genera impactos, ya que con el pisoteo y ramoneo afecta los bosques y afloramientos. Ambas especies generan una degradación parcial de la cobertura del suelo, removiendo plantas, plántulas y frutos (SNAP 2008).

Como ya se ha mencionado anteriormente, el área cuenta con una flora muy diversa. Allí se encuentra el 70% de las especies vegetales autóctonas del país. De las 109 especies vegetales registradas, 25 son prioritarias para el SNAP, siendo que la mayor parte de ellas crece en los bosques de quebrada y galería, lo que le confiere a dicho ambiente un gran valor de conservación. Se han registrado 23 especies de helechos y varias plantas silvestres como la yerba-mate (*Ilex paraguariensis*), que abunda en los montes del área, motivo por el cual ha oficiado de nombre a los arroyos (Grande, Chico y Yermalito) y a la Sierra (Praderi & Vivo 1969).

#### **2.4. Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos**

El Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos (PPQC) (32°55'39" S, 54°27'25" W) ingresó al SNAP a través del decreto del Poder Ejecutivo N° 462/008 el 29 de setiembre de 2008, por "estar asociada al sistema de la Cuchilla Grande y poseer singularidad paisajística, representatividad de ecosistemas autóctonos y diversidad de especies" (MVOTMA 2008). De este modo pasa a constituir la primer área del SNAP, ingresando bajo la categoría de Paisaje Protegido. Dicha categoría presenta objetivos de manejo que buscan conservar la diversidad de hábitats, especies y ecosistemas asociados al paisaje, al tiempo que intenta preservar la armonía entre la naturaleza y la cultura, beneficiando a las comunidades locales tanto con el suministro de productos naturales como con la prestación

de servicios ecosistémicos (agua potable, turismo sostenible). También alienta las actividades científicas y educativas, y estimula el apoyo público en favor de la protección ambiental del área (Decreto N°52/005 2005).

Se ubica dentro de la cuenca del Arroyo Yermal (siendo atravesada por el Arroyo Yermal Chico), a aproximadamente 36 km de la capital departamental (47 km si consideramos desde la recepción de la Quebrada) y presenta una superficie de 4.413 hectáreas. Actualmente los límites del PPQC están definidos por los padrones N° 3040, 4989, 9444, 9445, 9446 y 9447 en la 4ª Sección Judicial del Departamento de Treinta y Tres (MVOTMA 2008) y sus hectáreas son distribuidas entre tres propietarios:

#### ***Intendencia de Treinta y Tres (ITT)***

365 has, padrón 4989 (padrón departamental). Esta área posee una figura de protección municipal desde 1986, caracterizándose desde entonces por dos actividades principales: la conservación (exclusión ganadera) y actividades recreativas (SNAP 2010). Se encuentran allí la administración del área y servicios turísticos (cabañas y camping), así como también un Centro de Educación Ambiental. Se realizan también actividades de recuperación de variedades genéticas locales, como la abeja criolla (SNAP 2010).

#### ***Ministerio de Defensa Nacional (MDN)***

2.321has, padrón 3040 (padrón estatal). Inicialmente utilizado como campo de maniobras militares, en los últimos años ha sido utilizada para ganadería extensiva, y también para la promoción de iniciativas de contribución a la conservación y manejo del campo natural (SNAP 2010). Actualmente, gran parte de la parcela se encuentra bajo la gestión del Instituto Nacional de Colonización (INC).

#### ***Privados***

1.326 has, padrones 9444, 9445, 9446 y 9447, de los cuales los últimos tres (total de 1.247 has) corresponden a la familia Demicheli, siendo utilizados básicamente para la ganadería extensiva. También ofrecen actividades de ecoturismo, contando con un campamento y alojamientos (SNAP 2010).

#### **2.4.1. Objetivos de conservación**

En base a los objetos de conservación que han sido planteados para el área (el paisaje como belleza escénica, el pastizal, el bosque de quebrada y galería, el sistema

fluvial y arbustos de distribución restringida) se plantearon los objetivos del área en el plan de manejo. Estos incluyen:

- conservar una muestra representativa del ecosistema de serranía del este
- conservar la integridad ecológica de los ambientes de pradera, bosque de quebrada y galería y el sistema fluvial, asegurando su dinámica y mantenimiento de sus servicios ecosistémicos
- conservar las especies prioritarias para el SNAP presentes en el área
- promover la conservación de la cuenca del Arroyo Yermal (subcuencas del Arroyo Yermal Grande, Yermalito y Yermal Chico)
- estudiar y promover sistemas productivos ganaderos rentables y otros rubros complementarios y compatibles con los objetivos de conservación
- contribuir al desarrollo local mediante un turismo sostenible que brinde oportunidades de sensibilización y disfrute del patrimonio cultural y natural
- constituir un referente de educación ambiental en áreas protegidas y su entorno
- apoyar y promover actividades de formación práctica e investigación básica y aplicada a la conservación y el manejo de recursos naturales y áreas protegidas (SNAP 2010)

A partir del decreto N° 462/008 se establecen, a su vez, restricciones para la totalidad del área como medida de protección. El mismo prohíbe:

- vertidos de residuos, desagüe de efluentes o liberación de emisiones contaminantes sin tratamiento
- introducción de especies autóctonas de flora y fauna silvestres
- recolección, muerte, daño o provocación de molestias a animales silvestres, incluyendo captura en vivo y recolección de huevos o crías
- alteración o destrucción de la vegetación
- actividad de caza y pesca (salvo cuando se encuentren específicamente contempladas en el plan de manejo)
- cualquier tipo de actividad minera (prospección, exploración o explotación) (MVOTMA 2008)

#### **2.4.2. Zonificación del área**

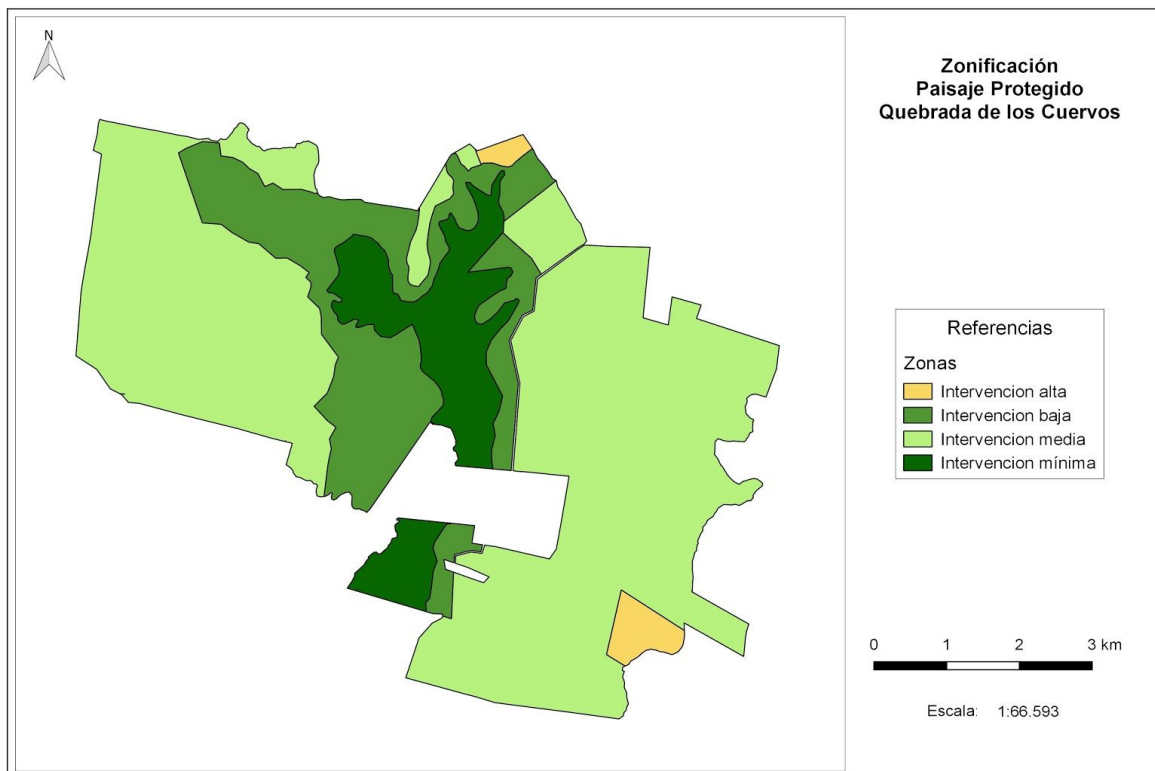
En base a zonificaciones previas del área (1998 y 2008) y a información recolectada a partir de mapeos participativos (identificación del territorio clave para el cumplimiento de los objetivos de conservación) se planteó en el 2010 una nueva zonificación del área en

cuatro (4) zonas, presentando éstas diferente nivel de intervención acorde a los objetivos de conservación, la información ecosistémica y las amenazas del sitio (Tabla 1, Fig. 3) (SNAP 2010).

**Tabla 1.** Zonificación del Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos, detallando localidad, objetivo, manejo y actividades permitidas y denegadas de cada zona.

<b>Zona</b>	<b>Localidad</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Manejo</b>	<b>Permitido</b>	<b>Denegado</b>
Intervención mínima	quebradas y afloramientos rocosos presentes en el cauce del A° Yermal Chico y cursos relacionados en el predio de la ITT, Familia Demicheli y MDN	conservar lo más posible los objetos de conservación, y permitir procesos naturales o asistidos de recuperación	actividades de restauración; intervenciones de control de especies exóticas	investigaciones de mínimo impacto; presencia humana baja (máximo 5 personas)	infraestructura; pastoreo por ganadería; ruidos elevados (salvo caso de emergencia); pernoctar
Intervención baja	zona en la que converge mayor campo visual de valor escénico. Incluye afloramientos rocosos, bosque de quebrada y galería y parte del cauce del A° Yermal Chico	conservar de forma buena y muy buena los objetos de conservación, manteniendo los procesos ecológicos aún con la presencia de actividades humanas de bajo impacto	intervenciones de control de especies exóticas y control de incendios. Pastoreo organizado con planes de manejo prediales	escasa infraestructura (senderos, miradores, alojamientos ecológicos), cuidando uso de energía, agua, tratamiento de efluente, desechos, etc. Presencia humana baja (máx. 10 personas). Actividades de aventura	ruidos elevados (salvo para caso de emergencia)
Intervención media	pastizales, bosques y arbustivos fuera de las zonas previamente delimitadas, con potencial para la aplicación de sistemas	conservar de forma buena y muy buena los objetos de conservación, manteniendo los procesos ecológicos aún con la presencia	actividades de control de exóticas; prevención y control de incendios; actividades de manejo. Sistemas	infraestructura (aquella estrictamente necesaria); emprendimientos u obras que mantengan en muy buen estado los objetos de	erosión por sobrepastoreo o quemas ni intervenciones con reemplazo; ruidos elevados

	productivos ganaderos rentables	de actividades humanas de impacto medio	productivos ganaderos mantendrán pastizal alto en superficies en nacientes de cursos de agua.	conservación; presencia humana media; actividades de aventura acorde a los objetivos y características de la zona.	(salvo caso de emergencia)
Intervención alta	zona del área municipal en la que se ubica la administración y base en predio de MDN	dar soporte a la gestión del uso público y operación administrativa del área	actividades de control de exóticas; prevención y control de incendios; manejo de desechos sólidos, efluentes y otros.	infraestructura (administración, cabañas, servicios de alimentación, centro de merchandising, camping); presencia humana media; ruidos acorde a las actividades autorizadas	



**Figura 3.** Zonificación del PPQC en vigor desde el 2010 (SNAP 2010).

## **2.5. Zona adyacente**

En el decreto N° 462/008 es declarada también una zona adyacente, de 9.750 hectáreas aproximadamente, que corresponde a las restantes partes de la microcuenca del Arroyo Yermal Chico, dejando por fuera a las subcuencas del Arroyo Yermal Grande, Yermalito y Convoy, cuencas que circundan el PPQC y forman parte del paisaje de las Sierras del Yermal (SNAP 2010). La misma surge bajo la necesidad de crear una zona de amortiguación que funcione como nexo de integración entre el AP y el uso del suelo de la matriz en la que ésta está inmersa, articulando el desarrollo local y regional con los objetivos específicos del SNAP. De este modo la aplicación de medidas de protección ayuda a disminuir las presiones (fuentes de estrés) que existen sobre el AP (SNAP 2008; Decreto N° 52/005 2005). La zona incluye áreas de influencia en los procesos ecológicos asociados a los servicios ecosistémicos del AP y busca preservar la conectividad entre los ambientes, incluyendo los hábitats necesarios para que las especies que habitan dentro del AP puedan cumplir con su ciclo de vida (SNAP 2008). Como medida de protección específica se propuso restringir las plantaciones forestales, actividades mineras, construcciones industriales e introducción de organismos genéticamente modificados, debido a su alteración de las características ambientales (SNAP 2010). Se encuentran en el área varias especies de mamíferos exóticos invasores, como el ciervo colorado (*Cervus elaphus*), ciervo axis (*Axis axis*), ciervo dama (*Dama dama*), cabras salvajes (*Capra hircus*) y muflón (*Ovis orientalis musimon*), que amenazan los pastizales alterando los ensambles de mamíferos nativos y la vegetación. La zona se encuentra sometida a un intenso proceso de cambio en el uso del suelo, amenazada principalmente por el sector agrícola: plantaciones forestales (pinos y eucaliptus), cultivos agrícolas y ganadería, que degradan y sustituyen las praderas. Es importante destacar también a la minería como otra de las grandes presiones que genera impactos tanto en el área como en los servicios ecosistémicos, siendo que diferentes zonas del área adyacente han sido objeto de solicitudes de prospecciones mineras (SNAP 2008).

## **2.6. Zona de influencia**

Esta zona corresponde a una extensión de 70.400 hectáreas aproximadamente e incluye las restantes subcuencas del Arroyo Yermal Grande, Yermalito y Convoy. Al tiempo que influye sobre el área protegida, es un área que no presenta el mismo grado de protección que el área protegida ni la zona adyacente, lo que lo convierte en un excelente punto comparativo. Comprende un único centro poblado, llamado Isla Patrulla (32°59'36"S,



54°33'43"W) ubicado a aproximadamente 10 km del área protegida (SNAP 2008) y que cuenta con 236 habitantes según el último censo del INE (Instituto Nacional de Estadística) en el año 2011. En esta región es predominante el uso del suelo asociado a la ganadería extensiva, así como también a los cultivos forestales; dichos suelos han sido clasificados de prioridad forestal según CONEAT. También se destaca en esta zona la producción apícola, actividad de pequeña escala (SNAP 2008).

## **2.7. Aptitud general de uso de la tierra**

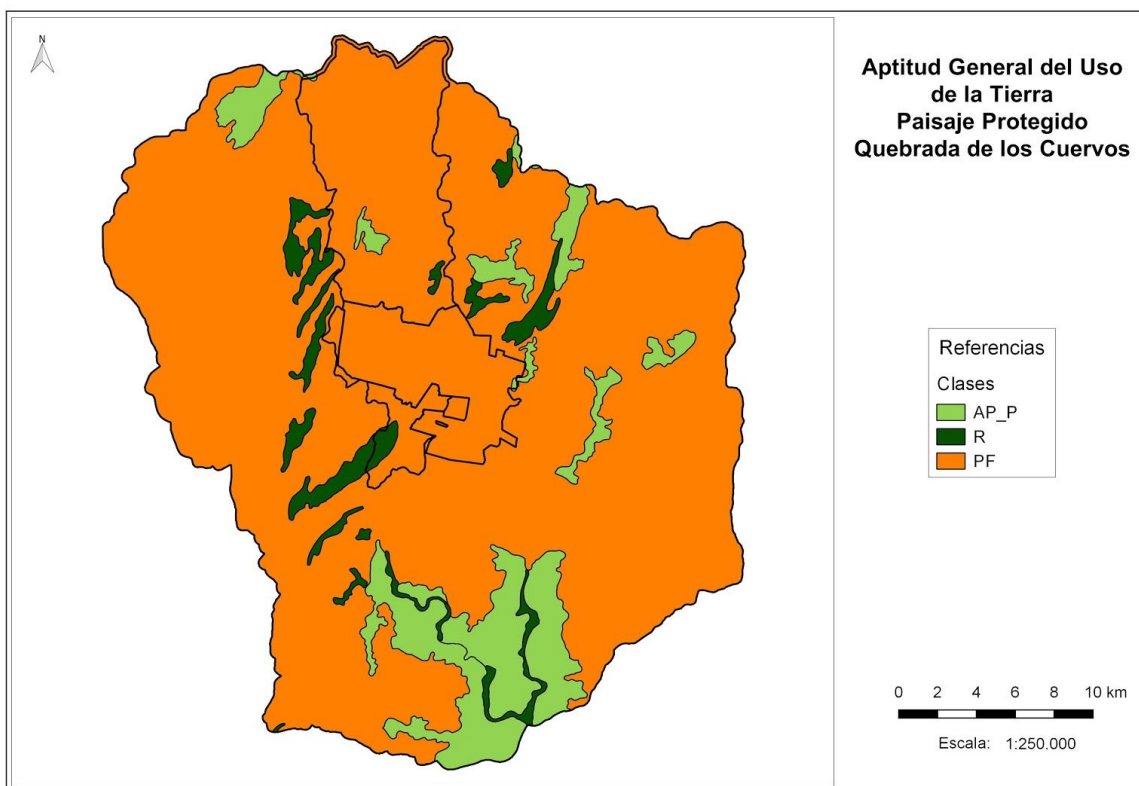
Los suelos del Uruguay difieren mucho en cuanto a sus características, aptitud y productividad (CIDE 1967). Por tal motivo, existe en Uruguay una zonificación del suelo en base a su aptitud, que es determinada por el Índice Coneat creado en la década del 60 por la Comisión Nacional de Estudio Agroeconómico de la Tierra. El mismo pretendía generar un ordenamiento del territorio, guiando un uso de la tierra compatible con las cualidades del mismo, considerando que la tierra sea usada en lo que es más apta, con una adecuada relación insumo-beneficio y protegiendo a la misma de cambios irreversibles que pongan en peligro su uso productivo sostenido.

La Dirección General de Recursos Naturales Renovables (DGRNR), del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP), generó un mapa de Aptitud General de Uso de la Tierra (AGUT 2008) para el territorio nacional, basándose en los Grupos del Sistema CONEAT. El mismo fue utilizado para clasificar la aptitud de los suelos presentes en el área de estudio (Fig. 4). Las categorías presentes son:

- **PF (pastoril forestal):** tierras aptas para una amplia gama de producción de pasturas y forestales. Son tierras silvo-pastoriles que presentan riesgo de erosión. Las inundaciones y la poca fertilidad hace inviable la plantación de cultivos. Estas características resultan adecuadas para la producción forestal y de baja productividad para otras actividades agropecuarias. Ocupan el 85,6% del total del área de estudio.
- **AP (agrícola pastoril):** tierras aptas para producción de pasturas pero con muy severas limitaciones para otros cultivos, pudiendo o no ser tierras para cultivos forestales. Presentan muy poca resistencia a la erosión bajo cultivos, déficit de oxígeno, limitaciones al laboreo, y muy baja disponibilidad de agua para riego y abrevadero. Representan el 8,4% del área.

- **P (pastoril)**: tierras aptas para la producción de pasturas y muy limitada para los forestales. Presentan alto riesgo de erosión, con inundaciones y una alcalinidad que no permiten otro tipo de uso que no sea la producción de pasturas. Baja disponibilidad de oxígeno. Constituyen el 2,2% del área.
- **R (reserva)**: tierras sin aptitud agropecuaria ni forestal. Presentan vegetación espontánea de alto valor, lo que las convierte en tierras de reserva natural de flora y fauna. Se caracterizan por tener muy mala disponibilidad de oxígeno, alta salinidad, fertilidad mínima (arenas) y malas condiciones de enraizamiento, motivo por el cual se vuelven inaccesibles al uso forestal y al pastoreo. Ocupan el 3,9% del total del área (RENARE s.f.).

Para el presente trabajo las clases Agrícola-Pastoril y Pastoril fueron unificadas en una única clase, llamada AP\_P (10,6% del total del área).



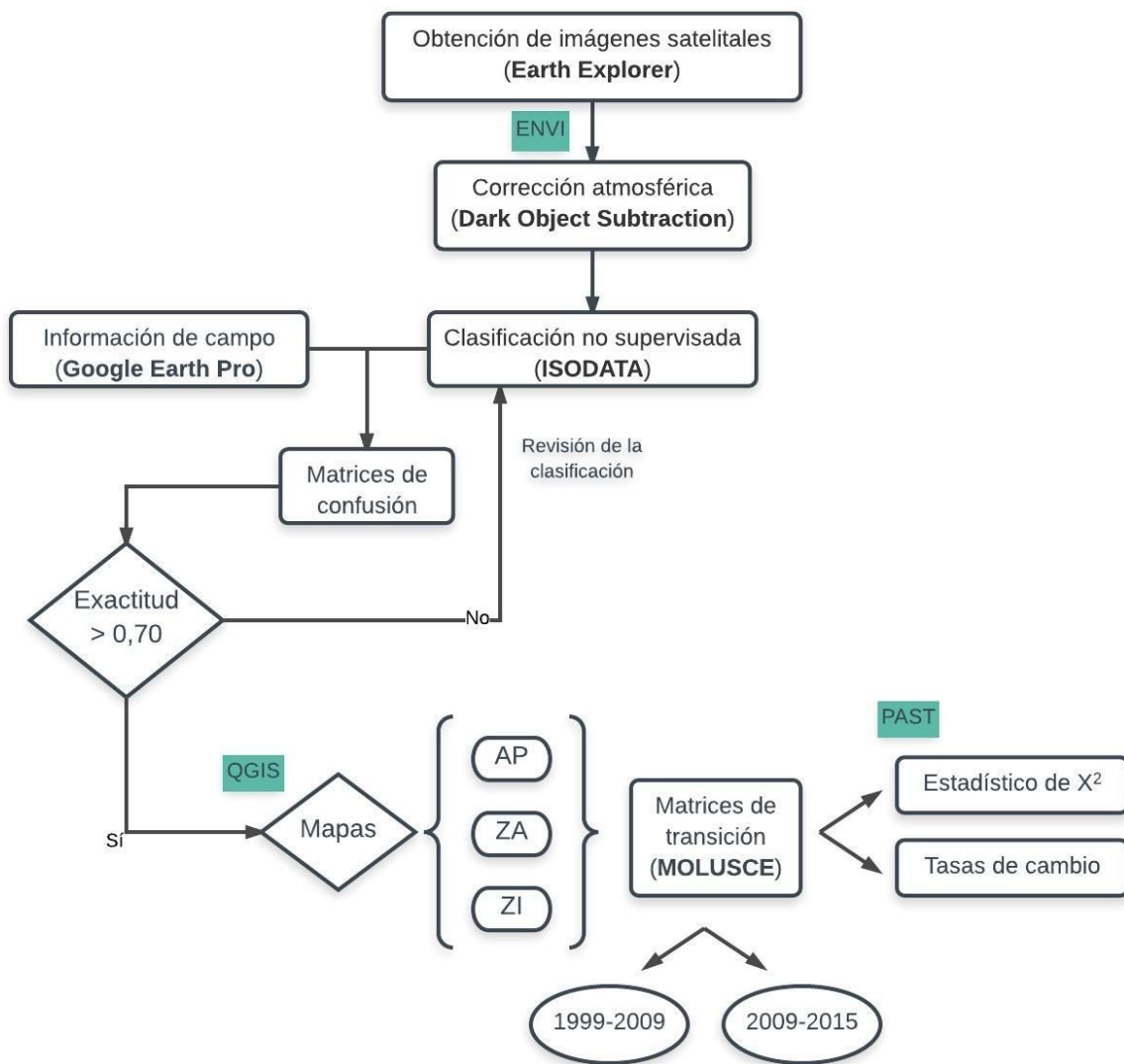
**Figura 4.** Aptitud general de uso del suelo correspondiente al área de estudio. Incluye las clases AP\_P (agrícola pastoril/pastoril), R (reserva) y PF (pastoril forestal).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Diseño metodológico**

El plan de trabajo incluyó las siguientes etapas:

1. Obtención de imágenes satelitales del área de estudio.
2. Corrección atmosférica de las imágenes y clasificación no supervisada de las mismas.
3. Identificación de los distintos tipos de cobertura.
4. Cálculo y comparación de las tasas de cambio de uso del suelo entre el AP, ZA y ZI.
5. Cálculo y comparación de la tasa de cambio dentro del AP antes y después de su declaración.
6. Análisis de cambio en el uso del suelo considerando la aptitud del suelo, para descartar que los cambios dentro y fuera del AP no sean debido esencialmente a diferencias en la cantidad o disponibilidad de superficie con aptitud agrícola o forestal dentro y fuera del AP.



**Figura 5.** Diseño metodológico de la tesis. En verde se indican los softwares utilizados (ENVI, QGIS y PAST).

### 3.2. Obtención de imágenes

Las imágenes satelitales Landsat fueron obtenidas a partir de la plataforma virtual Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) perteneciente al Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), organización científica que permite el acceso a información sobre terrenos, ecosistemas y recursos naturales. Para la realización de la comparación multitemporal del área protegida se seleccionó una escena (Path: 223; Raw: 83) que abarcara a la totalidad del área de estudio. Fueron descargadas tres imágenes de tres años diferentes, todas ellas de la época primavera/verano debido a la ocurrencia de mayor cobertura vegetal:

- 1°) 21 de diciembre de 1999: indicador de situación anterior a la incorporación al SNAP.
- 2°) 5 de enero de 2009: indicador de la situación al momento de ingreso al SNAP.
- 3°) 8 de diciembre de 2015: indicador de la situación actual.

Para las imágenes de los años 1999 y 2009 fue utilizado el satélite Landsat 5, y para la correspondiente al 2015 se utilizó el Landsat 8. Se descartó el uso de imágenes provenientes del satélite Landsat 7 debido a fallas en su funcionamiento. En la Tabla 2 se detallan las características de cada satélite.

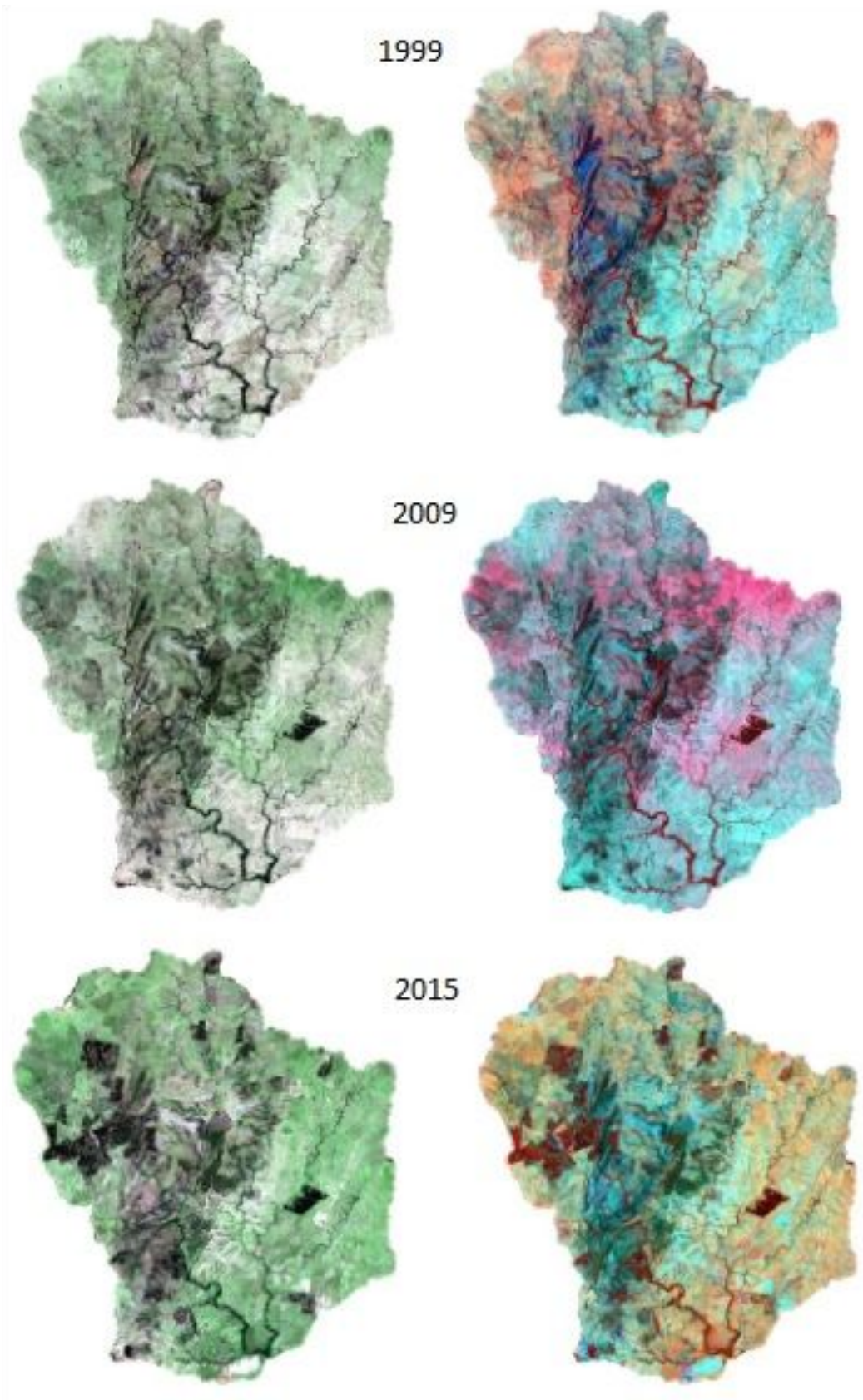
**Tabla 2.** Características de los satélites Landsat 5 y Landsat 8.

Satélites	Fecha	Altitud	Sensores	Bandas	Resolución espacial
Landsat 5	1984 - 2013	705 km	TM	7	Bandas 1-5 y 7: 30m Banda 6: 80m
Landsat 8	2013 - hoy	705 km	OLI, TIRS	11	Bandas 1-7 y 9: 30 Banda 8 (pancromática): 15m Bandas 10 y 11: 100m

### 3.3. Corrección de imágenes

Una vez obtenidas las imágenes, las mismas fueron georreferenciadas (EPSG: 32721, WGS 84 / UTM zona 21S) y sometidas a un proceso de corrección atmosférica mediante el método *Dark Object Subtraction (DOS)* en el software ENVI versión 5.1 (Exelis VIS, 2013) (software de procesamiento y análisis avanzado de imágenes geoespaciales). El mismo asume que existe una alta probabilidad de que haya al menos unos pocos píxeles dentro de la imagen que deberían ser negros (0% de reflectancia), pero que debido a la dispersión atmosférica, son registrados en el sistema de imágenes con un DN (digital number) distinto de cero. Utilizando información contenida en los datos de la imagen digital, ese valor es restado a las bandas espectrales para eliminar el componente de dispersión (Chavez 1988).

Se realizó la corrección de cada banda por separado y se combinaron posteriormente, dejando de lado las bandas térmicas (banda 6 en el caso del Landsat 5, y bandas 10 y 11 en Landsat 8). Fueron realizadas dos combinaciones de bandas: color natural (en Landsat 5 se correspondió con la combinación de bandas 321, y en Landsat 8 con 432) y falso color (en Landsat 5 se corresponde con las bandas 453, y en Landsat 8 con 564) (Fig. 6).



**Figura 6.** Visualización del área de estudio en las tres fechas (1999, 2009 y 2015) en color natural (imágenes de la izquierda) y en falso color (imágenes de la derecha).

### 3.4. Clasificación de la cobertura

Previo a la ejecución de las clasificaciones, cada imagen fue recortada utilizando como máscara la capa vectorial (shapefile) del área total de estudio (se corresponde con el límite de la zona de influencia), realizando de ese modo la clasificación únicamente en el área de interés. Fueron realizadas clasificaciones no supervisadas mediante el método ISODATA (*IsoData Classification*) en el software ENVI. El mismo consiste en un análisis estadístico multivariado, que identifica valores de cada píxel de una o varias bandas de una imagen ráster, permitiendo la generación de clases que agrupan entidades similares entre sí, minimizando la varianza dentro de las clases y maximizándola entre las mismas (Gallego 2015). Para ello se utilizaron los siguientes parámetros:

número de clases: 7 a 10

iteraciones máximas: 100

umbral de cambio: 5%

número mínimo de píxeles: 100.

Las nueve categorías en las que se clasificó el área de trabajo fueron:

1. Afloramiento rocoso
2. Agua o humedal
3. Bosque
4. Cultivo
5. Forestación
6. Infraestructura
7. Matorral
8. Pastizal
9. Suelo desnudo

Las clasificaciones fueron posteriormente procesadas mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se utilizó el software de libre acceso Quantum GIS (QGIS) versión 2.14.8 (QGIS Geographic Information System, 1991). Allí fueron identificadas todas las categorías mediante comparación con observaciones a través del Google Earth Pro (Google Inc., 2017) e información ambiental del área previamente disponibilizada por el SNAP. Se realizaron las correcciones pertinentes así como también una nueva agrupación de las categorías para mejor interpretación de los resultados. Éstas fueron Natural (incluye las categorías 1, 2, 3, 7 y 8) y Antrópico (incluye las categorías 4, 5, 6 y 9).

### 3.5. Matriz de confusión

Las clasificaciones fueron validadas mediante una matriz de confusión. Las mismas son matrices cuadradas de  $n \times n$  (donde  $n$  es el número de clases o categorías), que permiten evaluar el grado de exactitud a través de la relación entre la cobertura real del área y la categorización de los píxeles producto de la clasificación. Para ello se generó un muestreo aleatorio de diez (10) puntos por categoría, mediante la herramienta "Crear puntos aleatorios" ("Create random points") del QGIS, y se reconoció la cobertura de cada punto a través del Google Earth Pro, generando así la información de campo. La matriz de confusión arrojada muestra las categorías de campo (GE) en las filas y las categorías de clasificación en las columnas. Finalmente se calculó la exactitud de cada categoría como:

$$\text{Exactitud} = \frac{\text{total de aciertos de esa categoría}}{\text{total de puntos de esa categoría}} \times 100$$

y la exactitud global de la clasificación como:

$$\text{Exactitud global} = \frac{\text{sumatoria de todos los aciertos}}{\text{total de puntos}}$$

### 3.6. Matriz de transición

Una vez validadas las clasificaciones, se realizaron las matrices de transición. Éstas sirven para analizar detalladamente la dinámica de cambio de la cobertura vegetal. Suponiendo que la cantidad de clases  $n$  se mantiene en los dos momentos, puede realizarse entonces una matriz de  $n \times n$ , que muestra la relación de cambio de un año al otro. En uno de los ejes se encuentran los tipos de vegetación y usos del suelo en el tiempo 1 ( $T_1$ ), y en el otro eje, las mismas categorías para el tiempo 2 ( $T_2$ ), por lo que la diagonal principal de la matriz representa la superficie de cada clase que no sufrió transición durante el período considerado (zonas de persistencia), mientras que las restantes celdas muestran la superficie de una determinada clase que mudó a otra (transiciones entre clases).

Para ello, las clasificaciones fueron primero cortadas utilizando como máscara los shapes correspondientes al Área Protegida (AP), la Zona Adyacente (ZA) y la Zona de Influencia (ZI), de modo de trabajar con las tres zonas por separado: AP, ZA y ZI. Las matrices de transición se realizaron con el complemento MOLUSCE del software QGIS, el cual enfrenta los rasters de dos fechas, una inicial y otra final, con el fin de comparar los



cambios existentes en las coberturas. El mismo arroja una tabla conteniendo la superficie inicial (fecha 1) y final (fecha 2) de cada categoría (Natural y Antrópica) (en hectáreas y porcentaje), así como la proporción de cambio de una fecha a la siguiente (también en hectáreas y porcentaje).

Para testear los porcentajes de cambio fueron comparadas las proporciones de distintas coberturas (Natural y Antrópica) entre zonas (AP, ZA y ZI), períodos de tiempo (1999-2009 y 2009-2015) y aptitud del suelo (AP\_P, PF y R), usando el estadístico de chi cuadrado ( $\chi^2$ ) en el software Past versión 3.16 (Hammer et al. 2001), evaluando el valor de  $p$  con un nivel de significación ( $\alpha$ ) de 0,05.

Finalmente, para evaluar la relación entre las transformaciones de cobertura y la aptitud del uso del suelo, se realizaron matrices de transición para cada categoría de aptitud, dentro y fuera del área protegida. Para ello las clasificaciones fueron primero cortadas utilizando como máscara el mapa vectorial de Aptitud General de Uso de la Tierra (AGUT), y posteriormente recortadas con los límites de cada zona.

Para comparar los cambios dentro y fuera del área protegida, se optó por utilizar la fórmula planteada por Figueroa & Sánchez-Cordero (2008) para calcular las tasas de cambio de uso del suelo para cada una de las zonas,

$$TCUSV = \left( \frac{(S2 - S1)/St}{T} \right) \times 100$$

donde: TCUSV= tasa de cambio, S1= superficie antrópica inicial, S2= superficie antrópica final, St= superficie total evaluada y T= años transcurridos.

También se calculó el *índice de efectividad del AP* ideado por los mismos autores, para brindar robustez a los resultados obtenidos a partir de los mapas y las matrices. Este índice conjuga, en una sola cifra, los valores de cuatro parámetros de CUSV, permitiendo de esta forma evaluar el grado de efectividad del AP en contener los procesos de cambio. Estos parámetros se estandarizaron a valores entre 0 y 1, por lo que el índice (sumatoria de los mismos) adopta un rango de 0 a 4, siendo 4 la efectividad máxima. Dichos parámetros son: 1) porcentaje ocupado por la superficie antrópica dentro del AP en el último año (2015); 2) tasa de cambio de la superficie antrópica en el AP (2009-2015); 3) diferencia entre la tasa de cambio de la superficie antrópica en el AP y la observada en la ZA; y 4) diferencia entre la tasa de cambio de la superficie antrópica en el AP y la observada en la ZI. Los últimos dos parámetros adoptan valores binarios (0 o 1), siendo 1 cuando la tasa de cambio es menor en el AP que en la ZA o ZI, y 0 en el caso contrario (tasa de cambio mayor en el AP que en la ZA o ZI) (Figueroa et al. 2011).

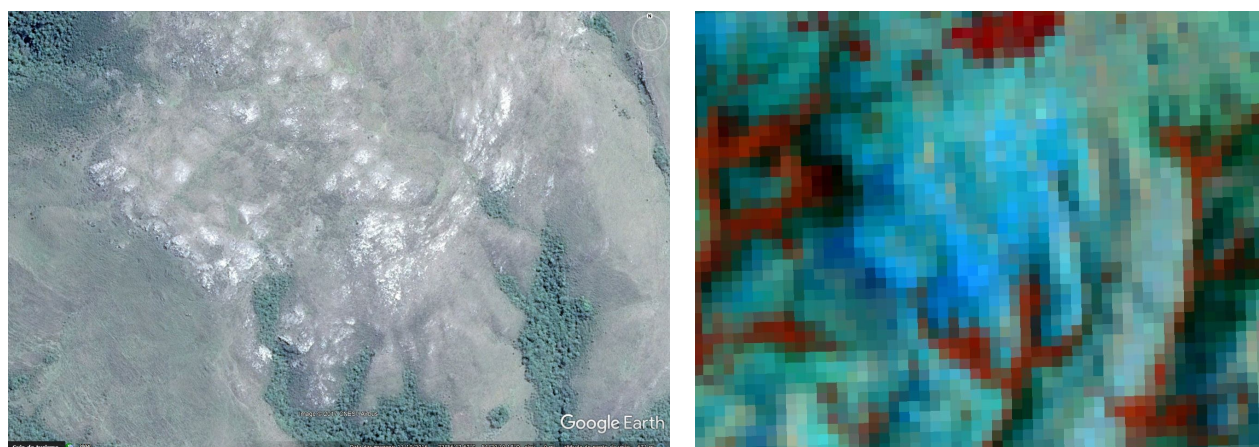
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Categorías de cobertura de suelo

A continuación se describen las nueve (9) categorías de suelo consideradas en esta tesis. Para el estudio del cambio en el uso del suelo, las mismas fueron agrupadas en las clases Natural y Antrópico, considerando a la primera constituida por las categorías afloramientos rocosos, agua o humedal, bosque, matorral y pastizal, y la segunda por cultivo, forestación, infraestructura y suelo desnudo.

#### ***Afloramientos rocosos***

La categoría presentó una distribución superficial caracterizada por parches de repartición heterogénea en el área de estudio. Los mayores afloramientos se encontraron principalmente en la región central y norte del área. En las imágenes aéreas se visualizaron como manchas claras, de color blanco/gris y con cierta rugosidad, adoptando un color celeste en la combinación de bandas en falso color (Fig. 7).

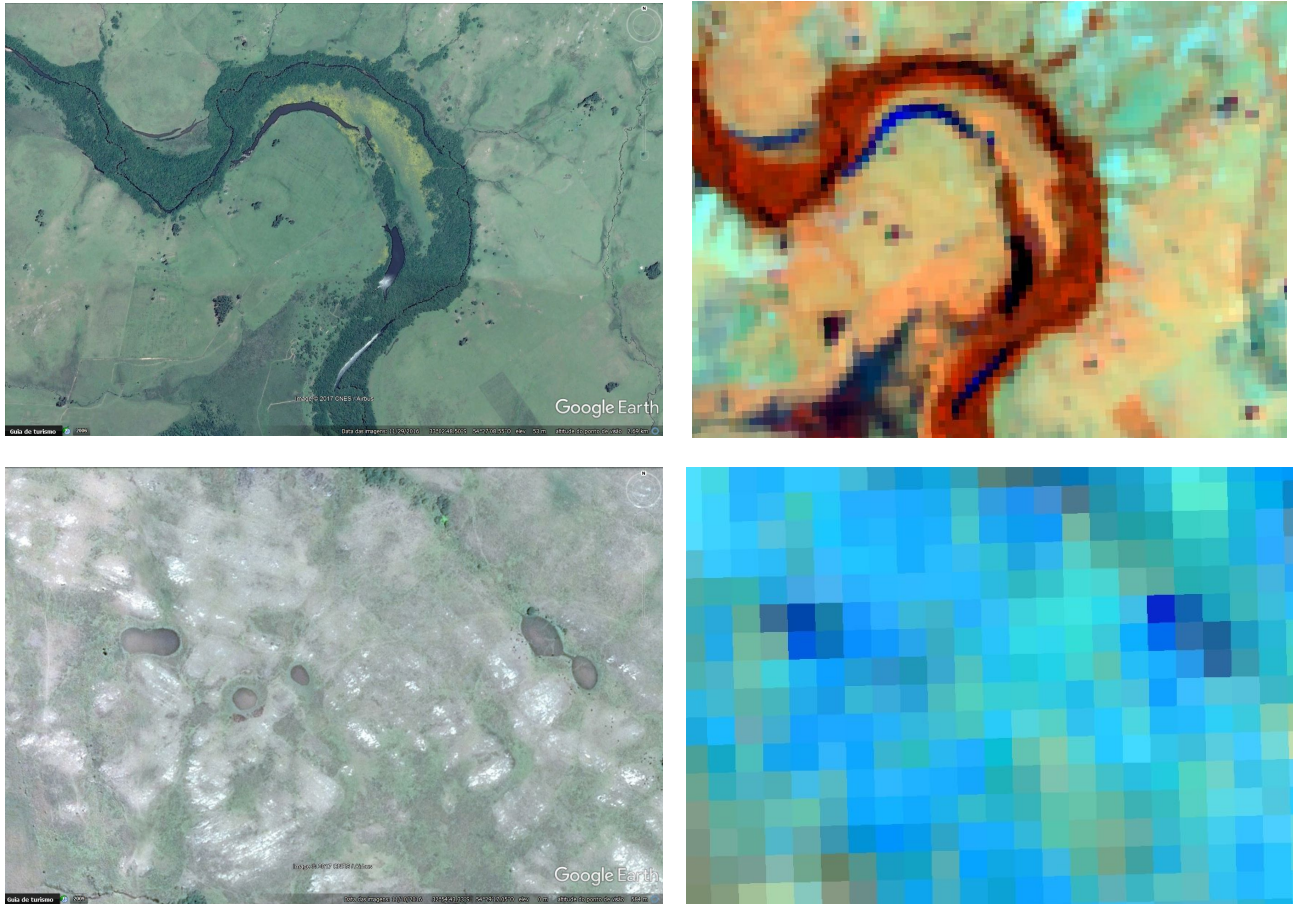


**Figura 7.** Afloramiento rocoso intercalado entre los pastizales. A la izquierda se observa la cobertura obtenida a partir de Google Earth Pro, y a la derecha, el mismo parche visualizado en falso color, a partir de la imagen satelital Landsat 8.

#### ***Agua o humedal***

La categoría incluyó dos tipos de cuerpos de agua, los arroyos y los lagos. Los primeros se visualizaron de color azul/marrón oscuro, en forma de nervadura y formando meandros, estando a su vez rodeados por galerías de bosques. Los lagos resultaron más difíciles de identificar, debido a su pequeño tamaño y su distribución dispersa en el área. Visualizados en tonalidad marrón, resultaron a menudo confundidos con pastizal. En la

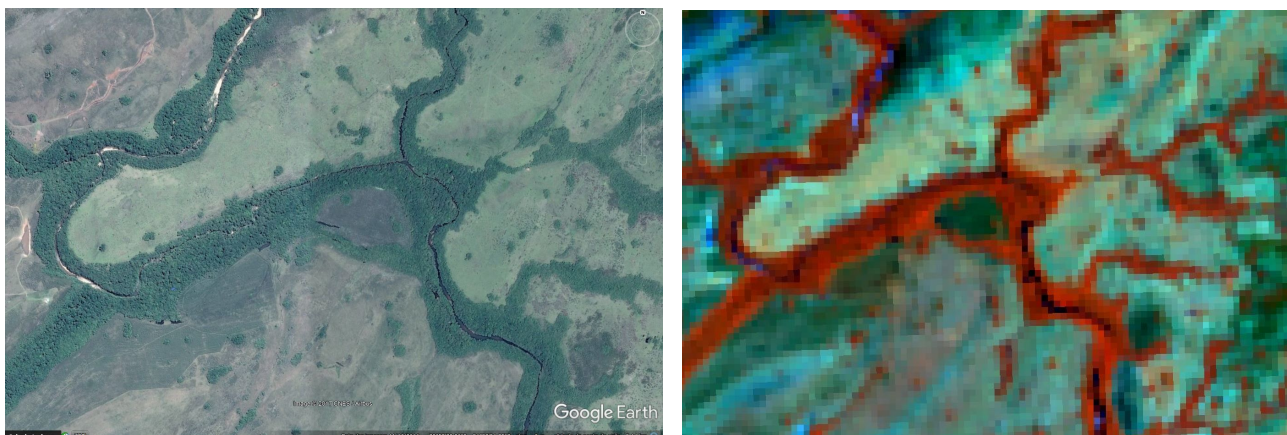
imagen satelital con combinación de bandas de falso color, ambos se destacaron con un color azul intenso (Fig. 8).



**Figura 8.** Arroyo Yermal Grande rodeado por bosque y describiendo un meandro (imagen superior izquierda). Lagos intercalados entre pastizal y afloramientos rocosos (imagen inferior izquierda); se advierte la dificultad de su visualización al no presentar un gran contraste con el paisaje. Las imágenes de la derecha representan las mismas coberturas en combinación falso color, con los cuerpos de agua destacados en color azul.

### ***Bosque***

La categoría resultó ser de fácil identificación debido a su clara disposición en el terreno: formaciones arbóreas agrupadas densamente, generalmente en los márgenes de los cursos de agua, con las copas de los árboles en un marcado color verde. En la combinación falso color la vegetación de alta productividad apareció de color rojo, fácilmente identificable (Fig. 9).



**Figura 9.** Extensión boscosa acompañando el curso de agua con la formación de meandros. Hacia afuera se observan también superficies de matorral y pastizal. En la imagen falso color de la derecha se observa el mismo sector de bosque en un destacado color rojo, siendo atravesado por el cuerpo de agua representado por un intenso azul.

### ***Cultivo***

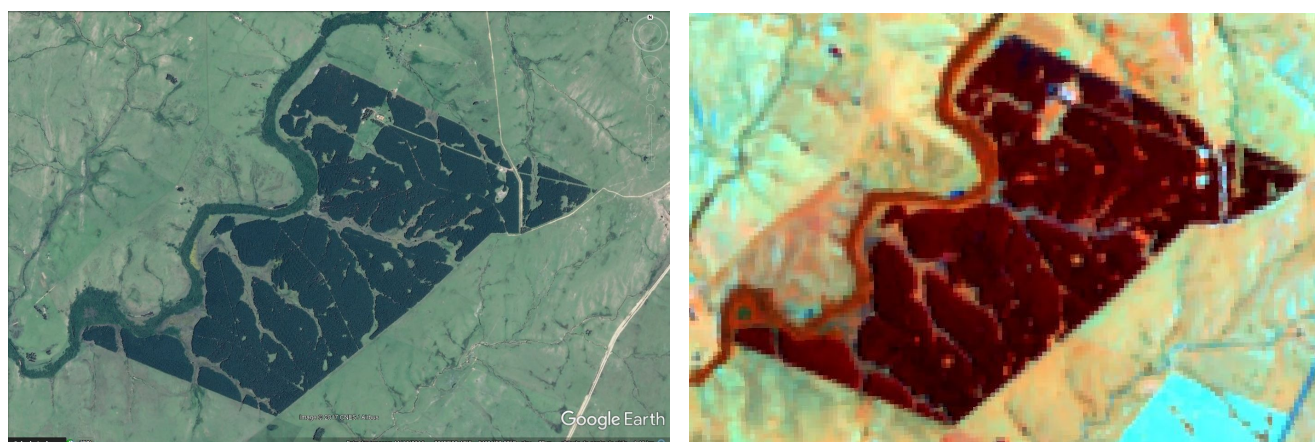
Las plantaciones agrícolas se visualizaron en las imágenes satelitales como parcelas claramente definidas, en una tonalidad verde, visiblemente diferente a aquella del pastizal, siendo en este caso un color más artificial. En falso color se las encontró de color magenta, contrastando marcadamente con el resto de la cobertura (Fig. 10).



**Figura 10.** Área de cultivo notoriamente delimitada y de color verde intenso (de aspecto artificial), apreciándose inclusive los canteros de cultivo (producto del arado de la tierra) (imagen izquierda). Generalmente existe una vivienda próximo a las zonas de cultivo que, en este caso, puede apreciarse en el margen inferior derecho de la parcela. La misma área de cultivo se visualiza de color magenta en la combinación falso color (imagen derecha).

### ***Forestación***

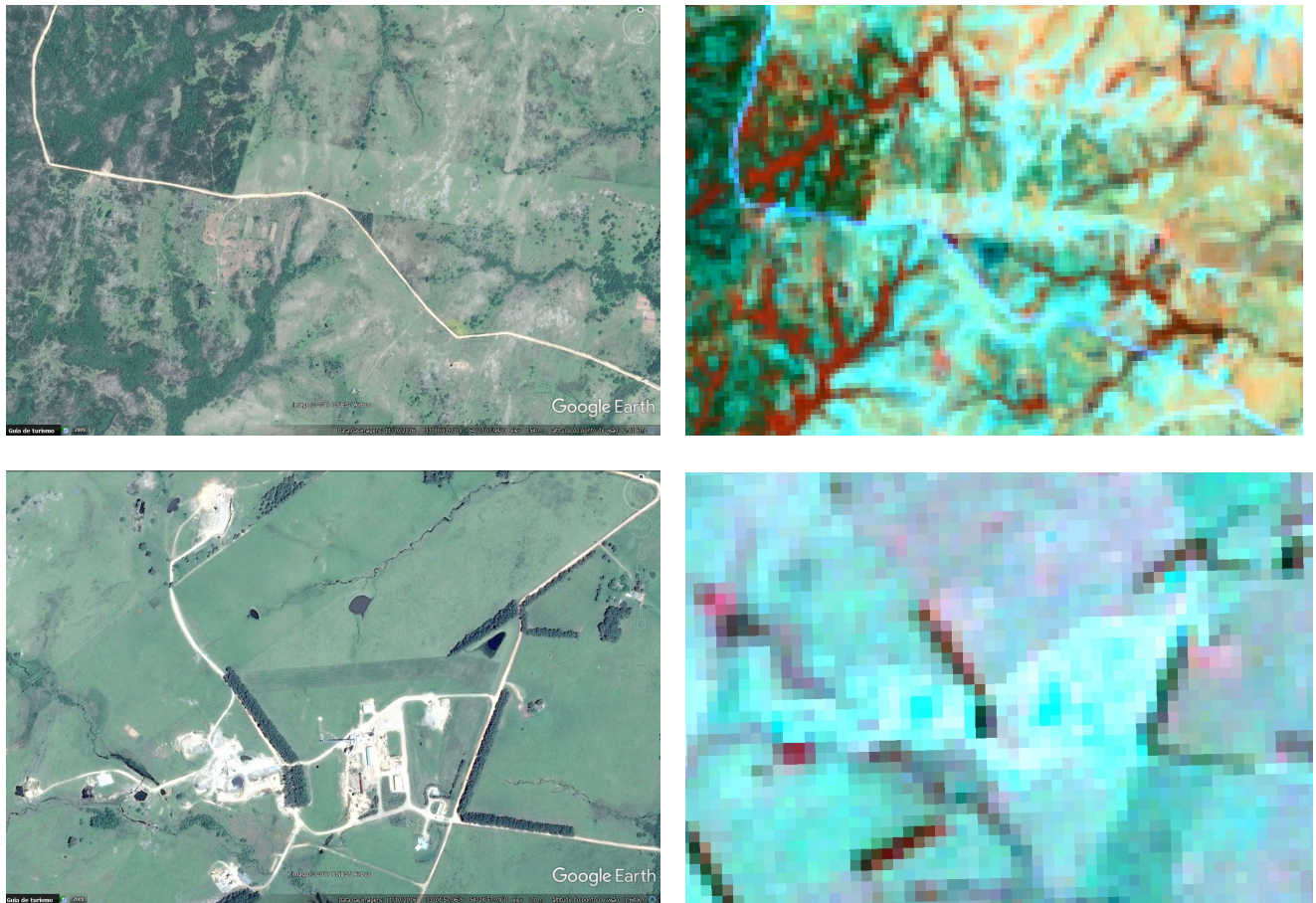
La particularidad de las plantaciones forestales las convirtió en una categoría de muy fácil identificación. Presentaron un patrón de distribución en parches nítidamente delimitados y de color verde oscuro, ocupando generalmente grandes extensiones. En el interior de los parches, los árboles se observaron dispuestos en hileras muy definidas, generalmente con la ocurrencia de algunos senderos dentro del mismo. En falso color se observaron en un fuerte color bordó, perfectamente distinguible de cualquier otro tipo de cobertura (Fig. 11).



**Figura 11.** Plantación forestal en los márgenes del bosque y curso de agua (imagen izquierda). Se observa un parche claramente delimitado con varios senderos por dentro. La misma plantación se visualiza de color bordó en la imagen falso color (imagen derecha).

### ***Infraestructura***

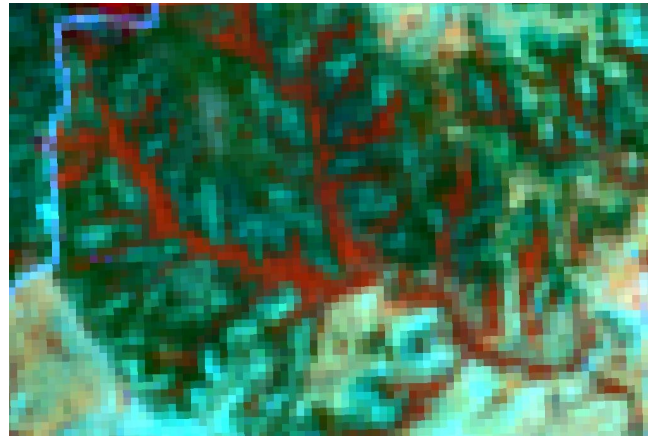
Esta categoría incluyó caminos de balastro, rutas y construcciones (casas y zonas aterradas), que se advirtieron de color claro, variando entre blanco, gris y color tierra. En falso color, las mismas se visualizaron también en color claro, pero con una tonalidad celeste, lo que se correspondió con áreas de escasa o nula vegetación pero de máxima reflectividad (Fig. 12).



**Figura 12.** Parte del camino de balastro que atraviesa el área protegida, en color tierra (imagen superior izquierda). En la figura inferior izquierda se visualiza una zona muy clara (casi blanca) de infraestructura, en este caso caminos, construcciones y zonas aterradas. Ambas se representan de color celeste claro casi turquesa en las imágenes falso color de la derecha.

### ***Matorral***

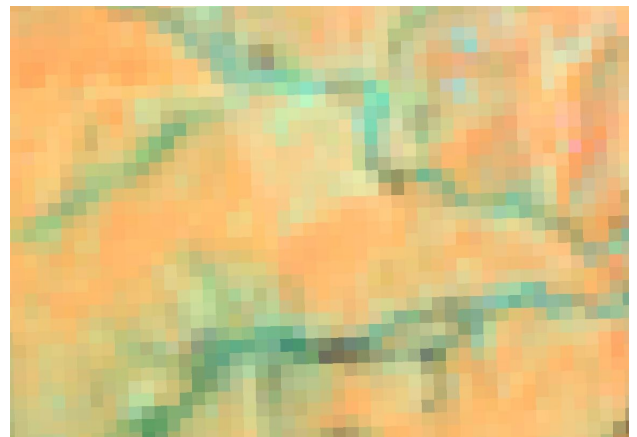
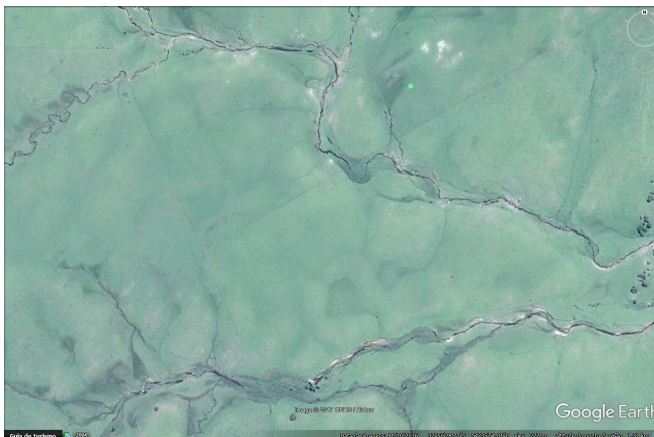
Esta categoría resultó en ocasiones difícil de identificar, debido a la gran variedad en sus tonalidades y disposiciones. Se encontró generalmente ubicado por fuera de los bosques, constituido por una vegetación de menor porte (arbustos) y agrupados con menor densidad, por lo que el verde no resultó ser tan intenso (adoptando a veces una tonalidad amarronada) y apreciándose, en ocasiones, el suelo entre medio. En falso color el matorral se observó de color más verdoso, incluso de tonalidad oscura, identificable por su distribución por fuera de los bosques (siendo estos últimos de color rojo) (Fig. 13).



**Figura 13.** Matorral dispuesto por fuera de las galerías de bosque, adoptando un color verde amarronado, y asomando el suelo por debajo (imagen izquierda). La misma cobertura se visualiza de color verde vivo, por fuera de los bosques de color rojo (imagen derecha).

### ***Pastizal***

Ocupó, en todos los casos, la mayor parte de la superficie del área. El mismo se visualizó de color verde, un tanto heterogéneo, y en ocasiones con afloramientos rocosos entremezclados. En falso color se observaron en diferentes tonalidades de color rosado piel/naranja (Fig. 14).



**Figura 14.** Pastizal en varias tonalidades de verde, con algunos afloramientos rocosos asomando y quebradas con cuerpos de agua que en ocasiones forman pequeños humedales que se visualizan en una tonalidad más oscura (imagen izquierda). En la combinación falso color, el pastizal se advierte de color rosado piel, con las nevaduras en tono celeste (imagen derecha).

### **Suelo desnudo**

Esta categoría representó a los suelos desnudos preparados para cultivar. Los mismos se caracterizaron por ocupar parcelas de color claro (casi tierra) y claramente delimitadas. En falso color, se identificaron por un intenso color celeste claro, parecido al adoptado por la infraestructura (Fig. 15).

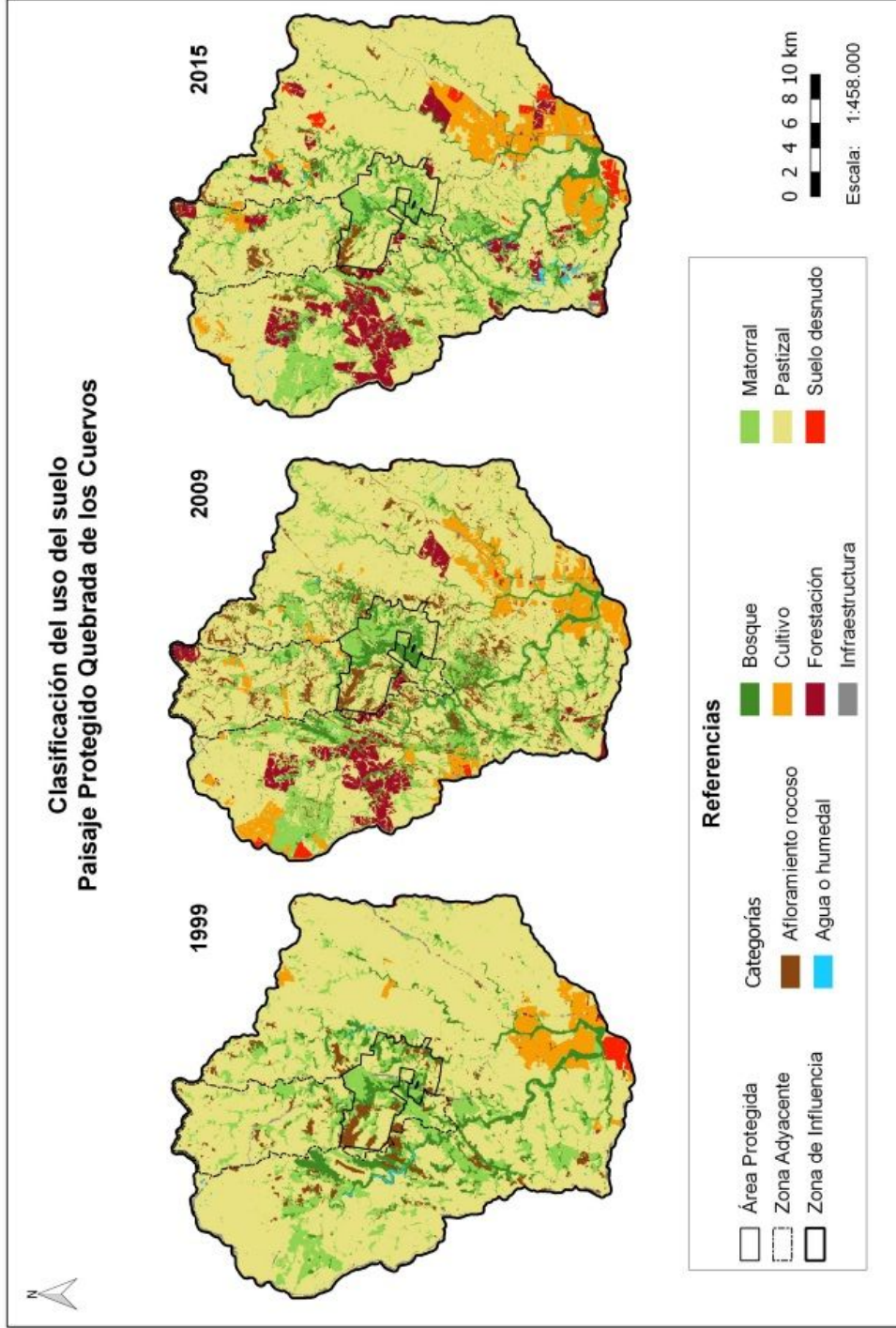


**Figura 15.** Parcela de suelo desnudo con marcados límites y de color tierra (imagen izquierda). En falso color es representada por un fuerte tono celeste, lo que facilita su identificación (imagen derecha).

#### **4.2. Mapas de uso del suelo**

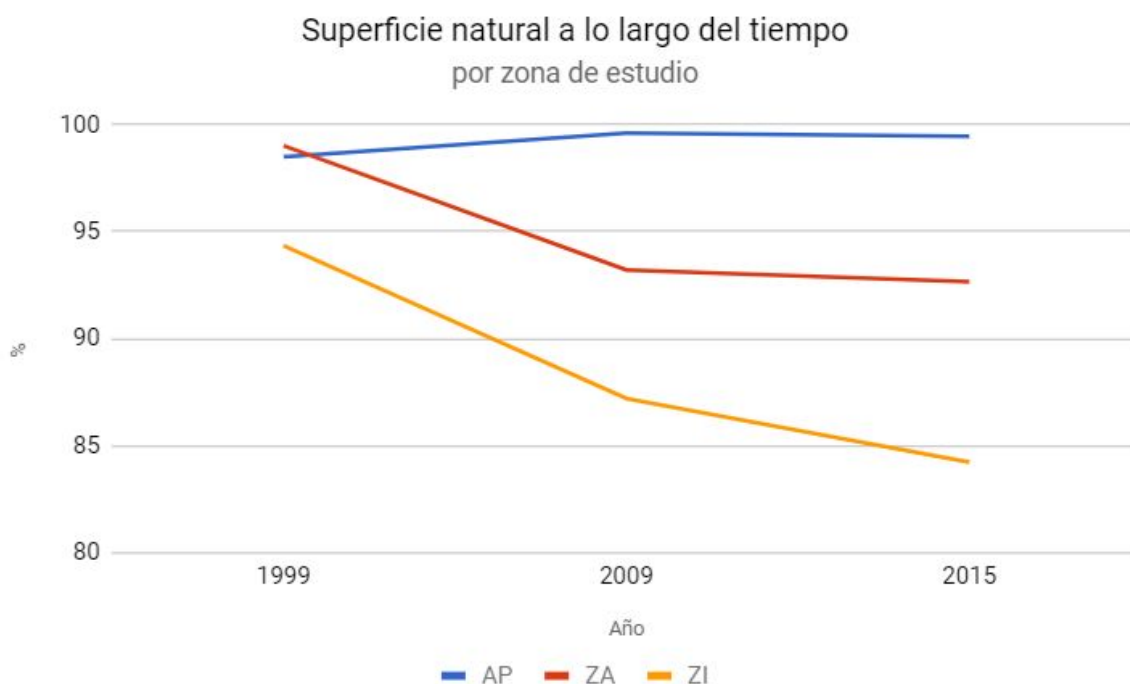
Como resultado de las clasificaciones se obtuvieron tres mapas de coberturas y usos del suelo (Fig. 16).





**Figura 16.** Mapas de uso del suelo del área de estudio correspondientes a los tres años analizados (1999, 2009 y 2015). Se indican los límites del área protegida (AP), la zona adyacente (ZA) y la zona de influencia (ZI).

En 1999, la cobertura natural cubrió el 98% de la superficie del AP, el 99% de la ZA y el 94% de la ZI. En el 2009, la categoría ascendió a 99% dentro del AP. Sin embargo, tanto en la ZA como en la ZI, la cobertura natural disminuyó a 93% y 87% respectivamente. Finalmente, en el 2015 prácticamente no se observaron cambios dentro del AP ni en la ZA, manteniéndose ambas con el 99% y 93% respectivamente. No obstante, en la ZI la cobertura natural continuó disminuyendo, alcanzando el 84%. En la Fig. 17 se observa la evolución de la cobertura natural en el tiempo.



**Figura 17.** Porcentaje de superficie natural en el área protegida (AP), zona adyacente (ZA) y zona de influencia (ZI) a lo largo del tiempo.

#### 4.3. Matrices de confusión

Las matrices de confusión (1999, 2009 y 2015) mostraron exactitudes globales de 87, 79 y 84% respectivamente, lo que las colocó por encima del valor mínimo aceptable (70% de exactitud).

Cinco de las nueve categorías (forestación, infraestructura, suelo desnudo, matorral y pastizal) presentaron, en por lo menos una ocasión, el 100% de exactitud, al tiempo que, dos de ellas (afloramiento rocoso y agua o humedal) obtuvieron el 50%, siendo éste el más bajo registrado. Promediando las exactitudes, suelo desnudo resultó ser la categoría mejor clasificada, obteniendo en los tres casos el 100% de exactitud. En último lugar se encontró

afloramiento rocoso con  $63 \pm 15\%$ , siendo ésta la exactitud más baja registrada. En la Tabla 3 se presenta, a modo de resumen, el promedio de cada una de las categorías junto con su respectiva desviación estándar. Para más detalle puede consultarse las matrices de confusión en Anexo I.

**Tabla 3.** Exactitud promedio (con desviación estándar) de cada categoría de uso del suelo.

<b>Categoría</b>	<b>Exactitud</b>
Afloramiento rocoso	$63 \pm 15$
Agua o humedal	$67 \pm 21$
Bosque	$77 \pm 6$
Cultivo	$80 \pm 10$
Forestación	$97 \pm 6$
Infraestructura	$93 \pm 12$
Matorral	$83 \pm 15$
Pastizal	$90 \pm 10$
Suelo desnudo	$100 \pm 0$

El análisis comparativo entre los puntos de control (90 por cada fecha, 270 en total) y la cobertura de las clasificaciones, mostró un total de 227 aciertos y 43 errores, lo que equivale a una exactitud global de 84%.

#### **4.4. Matrices de transición**

##### **4.4.1. 1999-2009**

La cobertura natural experimentó dentro del AP una ganancia de 1,13% de superficie durante la primera transición. Estos cambios ocurrieron principalmente en la zona de intervención media (en la parte central y norte del área) y en la zona de intervención alta. Se observó la desaparición del pequeño parche de forestación ubicado al norte del área (en zona de intervención alta), así como también un aumento de matorral y pastizal, a costa de una disminución en la infraestructura (debido probablemente a errores de clasificación).

En el mismo período (1999-2009), tanto la ZA como la ZI sufrieron pérdidas de cobertura natural. En el primer caso (ZA) la pérdida fue equivalente al 5,81% de su superficie, y coincidió con la aparición de dos categorías hasta el momento ausentes en la

zona: cultivo y forestación, las cuales reemplazaron pastizales y matorrales. Se registraron extensas plantaciones forestales al norte y noreste de la zona, así como también grandes áreas de cultivo en la región central.

En el caso de la ZI la disminución de la cobertura natural significó una pérdida del 7,13% de su superficie. En ese período la forestación creció un 5% en la zona, sustituyendo principalmente al pastizal y en menor medida al matorral, y el cultivo duplicó su cobertura, también a expensas del pastizal. Estos cambios llevaron, en el lapso de 10 años, a una disminución del 10% del pastizal y 1% del matorral.

#### **4.4.2. 2009-2015**

Durante la segunda transición (2009-2015), la pérdida de cobertura natural fue marcadamente menor que durante la primera en todas las zonas. En el AP, la pérdida fue de apenas el 0,17% de su superficie, lo que se evidenció en la aparición de un parche de forestación al norte del área. En la ZA la pérdida fue también muy baja, aunque un poco mayor que dentro del AP, siendo en este caso de 0,53% (un orden de magnitud 10 veces menor que en la primera transición). La misma se debió al aumento del 2% de la forestación, originándose una extensa plantación en la región centro/este de la zona. Por último, en la ZI la cobertura natural disminuyó su área casi un 3% (un poco menos de la mitad de la superficie perdida en la primera transición), debido al aumento de la forestación (2%), el suelo desnudo (1%) y la infraestructura (0,2%). En la Tabla 4 se observa un resumen de los cambios ocurridos por categoría en cada zona de estudio. Para más detalles, se recomienda consultar las matrices de transición en Anexo II.

**Tabla 4.** Superficie ocupada por categoría y por año, en hectáreas (ha) y porcentaje (%), en el área protegida **(a)**, la zona adyacente **(b)** y la zona de influencia **(c)**.

**a.**

<b>Área Protegida</b>	<b>ha</b>			<b>%</b>		
<b>Categoría</b>	<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>	<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>
Afloramiento rocoso	621	600	255	14	13	6
Agua o humedal	2	14	28	0,05	0,32	0,63
Bosque	591	917	749	13	21	17
Cultivo	0	1	1	0,00	0,02	0,02
Forestación	6	3	9	0,1	0,1	0,2
Infraestructura	61	14	14	1,4	0,3	0,3
Matorral	1.717	1.381	1478	39	31	33
Pastizal	1.460	1.531	1931	33	34	43
Suelo desnudo	0	0	0	0	0	0

**b.**

<b>Zona adyacente</b>	<b>ha</b>			<b>%</b>		
<b>Categoría</b>	<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>	<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>
Afloramiento rocoso	563	1.025	542	6	11	6
Agua o humedal	7	65	117	0,1	0,7	1,2
Bosque	424	489	691	4	5	7
Cultivo	0	289	217	0	3	2
Forestación	15	335	474	0,2	3	5
Infraestructura	80	39	24	1	0,4	0,2
Matorral	2.238	1.363	1.276	23	14	13
Pastizal	6.427	6.137	6.402	66	63	66
Suelo desnudo	0	0	0	0	0	0

**c.**

<b>Zona de influencia</b>	<b>ha</b>			<b>%</b>		
<b>Categoría</b>	<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>	<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>
Afloramiento rocoso	1.887	4.274	828	3	6,1	1
Agua o humedal	97	310	720	0,1	0,4	1,0
Bosque	3.471	4.007	5.762	5	5,7	8
Cultivo	2.772	5.091	4.701	4	7	7
Forestación	156	3.203	4.892	0,2	5	7
Infraestructura	638	465	637	0,9	0,7	1
Matorral	10.846	9.948	7.155	15	14	10
Pastizal	50.104	42.845	44.853	71	61	64
Suelo desnudo	420	256	887	0,6	0,4	1

El análisis de la tasa de cambio de cobertura natural a antrópica mostró diferencias significativas en la proporción de coberturas naturales entre las tres zonas en los tres años ( $X^2=40,20$ ; g.d.l.=4;  $p<0,0001$ ) (Tabla 5). También fue significativa la diferencia entre las proporciones de cobertura natural y antrópica en las tres fechas ( $X^2=39,71$ ; g.d.l.=2;  $p<0,0001$ ).

**Tabla 5.** Cobertura natural y antrópica (en hectáreas) para cada zona (AP, ZA, ZI) en los tres años evaluados.

		1999	2009	2015
<b>AP</b>	Natural	4.390	4.443	4.441
	Antrópico	67	18	24
<b>ZA</b>	Natural	9.659	9.079	9.029
	Antrópico	95	662	715
<b>ZI</b>	Natural	66.407	61.385	59.317
	Antrópico	3.986	9.015	11.117

#### 4.4.3. Tasas de cambio e índice de efectividad

A partir de la declaración del AP (2008), las tasas de cambio anuales en la cobertura antrópica (TCUSV) fueron de 0,026% para el AP, 0,090% para la ZA y 0,50% para la ZI, siendo calculadas a partir de los valores dispuestos en la Tabla 6. El porcentaje de cobertura antrópica en el AP al 2015 (último año de estudio) fue de 0,53% (la estandarización de este parámetro adopta un valor de 0,0053), y las transformaciones de cobertura natural a antrópica fueron menores dentro del AP que en su respectiva ZA (AP-ZA= -0,068) y ZI (AP-ZI= -0,48), por lo que estos dos parámetros adoptaron el valor de uno (1). De este modo y acorde con el cálculo de Figueroa et al. (2011), el índice de efectividad del Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos fue de 2,03 ( $IE=0,0053+0,026+1+1$ ).

**Tabla 6.** Parámetros de cambio en el uso del suelo y vegetación ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_t$  y T) y la tasa de cambio (TCUSV) para las tres zonas, durante el período 2009-2015 (posterior al ingreso al SNAP).

	AP	ZA	ZI
S <sub>1</sub> <sup>a</sup> (ha)	17	662	9.015
S <sub>2</sub> <sup>b</sup> (ha)	24	715	11.117
S <sub>t</sub> <sup>c</sup> (ha)	4.460	9.746	70.409
T <sup>d</sup> (años)	6	6	6
TCUSV <sup>e</sup> (%)	0,026	0,090	0,50

<sup>a</sup>S<sub>1</sub>: superficie antrópica al tiempo 1 (2009)

<sup>b</sup>S<sub>2</sub>: superficie antrópica al tiempo 2 (2015)

<sup>c</sup>S<sub>t</sub>: superficie total evaluada

<sup>d</sup>T: años transcurridos en el período evaluado (t2 - t1)

<sup>e</sup>TCUSV: tasa anual de cambio de uso del suelo y vegetación

#### 4.4.4. Usos del suelo

Los suelos de aptitud pastoril forestal (PF) fueron los de mayor predominio en las tres zonas de estudio, constituyendo la amplia mayoría del territorio en cada una de ellas. Los de menor representación fueron los suelos con aptitud de reserva (R), encontrándose presentes únicamente en el territorio de la zona adyacente (ZA) y la zona de influencia (ZI). Los porcentajes de cada clase se detallaron en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Aptitud del suelo del área protegida, zona adyacente y zona de influencia. Se detalla el porcentaje ocupado por las clases Pastoril-Forestal (PF), Agrícola-Pastoril/Pastoril (AP\_P) y Reserva (R).

Clase	%		
	Área Protegida	Zona Adyacente	Zona de Influencia
PF	99,7	95,2	83,3
AP_P	0,3	2,0	12,4
R	-	2,8	4,3

Los suelos con aptitud PF sufrieron cambios en las tres zonas y en las tres fechas, siendo los mismos significativamente menores dentro del AP que fuera de la misma, así como también menores en la segunda transición que en la primera ( $X^2=53,24$ ; g.d.l.=4;  $p<0,0001$ ). Dentro del AP, la primera transición (de 1999 a 2009) significó una ganancia de

cobertura natural equivalente al 1,10% de la superficie de dicha clase (probablemente producto de errores de clasificación). Simultáneamente, la ZA y la ZI presenciaron una pérdida de superficie natural del 6,01% y 8,56% respectivamente, siendo en ambos casos resultado de la aparición de grandes parches de forestación y áreas de cultivo. A partir de la declaración del PPQC, los suelos de aptitud PF prácticamente no sufrieron cambios dentro del AP, apenas el 0,14% de su cobertura se transformó a antrópica, con la aparición de un pequeño parche de forestación. Por su parte, los suelos (de aptitud PF) dentro de la ZA y la ZI continuaron con una disminución de cobertura natural, siendo en el primer caso de apenas un 0,69% y en el segundo un 3,48%.

Los suelos de aptitud AP\_P se mantuvieron más estables en el lapso de tiempo estudiado. Dentro del AP, la clase no sufrió cambios de cobertura natural a antrópica en ninguna de las transiciones (1999-2009 y 2009-2015), manteniéndose en las tres fechas con el 100% de cobertura natural. Tanto en la ZA como en la ZI, los cambios netos fueron ínfimos, con apenas un 1% de ganancia de superficie de cobertura natural en la ZA, y un 0,73% en la ZI. Los resultados estadísticos no mostraron para esta aptitud del suelo una relación estadística significativa entre las tasas de cambio y el tipo de zona analizada ( $X^2=0,41$ ; g.d.l.=4;  $p=0,98$ ).

Finalmente, los suelos de aptitud R no sufrieron modificaciones dentro de la ZA en ninguno de los tres años analizados, permaneciendo en todas las fechas con el 100% de su superficie perteneciente a la categoría natural. Sin embargo, en la ZI la clase presenció una disminución de cobertura natural de 1,55% al 2009 y de 2,37% al 2015. Tampoco existió para esta clase una relación entre la superficie de cambio y la zona ( $X^2=0,20$ ; g.d.l.=2;  $p=0,90$ ) (Tabla 8).

**Tabla 8.** Cobertura natural y antrópica (en hectáreas) para cada zona (AP, ZA, ZI) en los tres años evaluados, discriminando por aptitud de uso del suelo: **(a)** Pastoril-Forestal (PF), **(b)** Agrícola-Pastoril/Pastoril (AP\_P) y **(c)** Reserva (R).

**a.**

Aptitud PF		1999	2009	2015
<b>AP</b>	Natural	4.377	4.430	4.424
	Antrópico	67	18	24
<b>ZA</b>	Natural	9.187	8.625	8.563
	Antrópico	93	650	714



<b>ZI</b>	Natural	57.256	52.242	50.238
	Antrópico	1.440	6.467	8.507

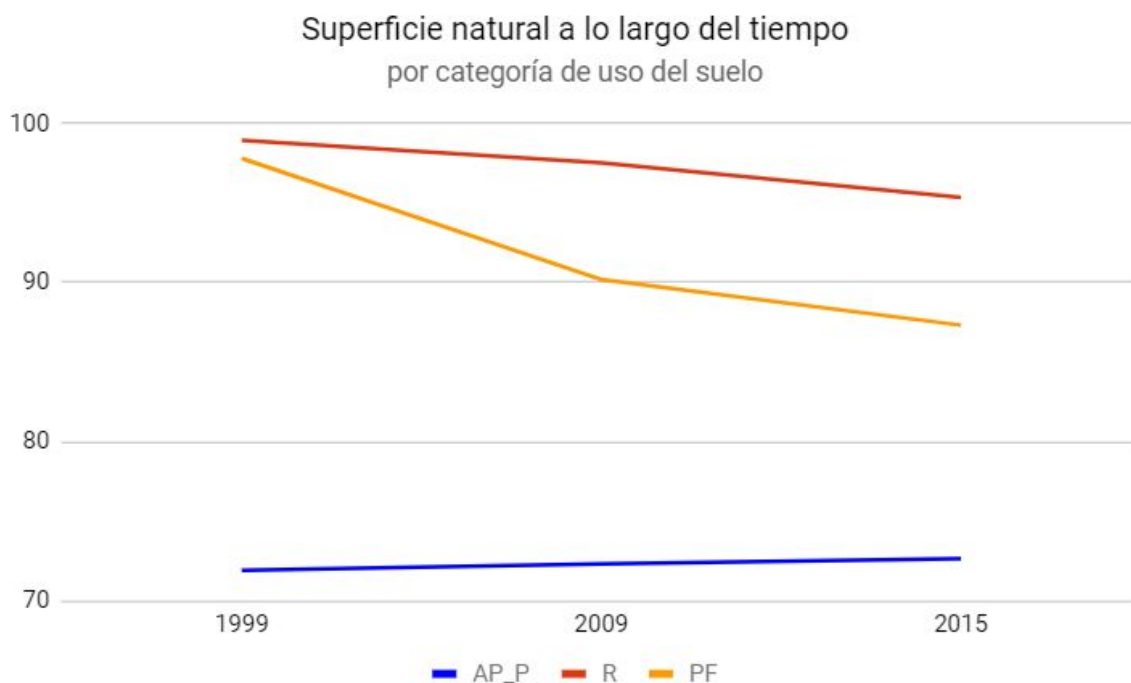
**b.**

<b>Aptitud AP_P</b>		<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>
<b>AP</b>	Natural	13	13	13
	Antrópico	0	0	0
<b>ZA</b>	Natural	194	184	195
	Antrópico	2	12	0
<b>ZI</b>	Natural	6.217	6.263	6.281
	Antrópico	2.511	2.465	2.455

**c.**

<b>Aptitud R</b>		<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2015</b>
<b>AP</b>	Natural	0	0	0
	Antrópico	0	0	0
<b>ZA</b>	Natural	268	268	268
	Antrópico	0	0	0
<b>ZI</b>	Natural	2.964	2.918	2.847
	Antrópico	35	82	154

En la figura 18 se observa la representación de la cobertura natural en cada una de las tres categorías de uso del suelo a lo largo del tiempo.



**Figura 18.** Porcentaje de cobertura natural en las categorías de uso del suelo (AP\_P, R y PF) en los años 1999, 2009 y 2015.

## 5. DISCUSIÓN

El estudio multitemporal de la cobertura del suelo permitió obtener un panorama sobre las transformaciones que han sucedido en el Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos y en su zona adyacente y de influencia en un lapso de 16 años. Los resultados sugieren que la declaración del área protegida así como la delimitación de su zona adyacente, ejercen una influencia sobre el territorio, contribuyendo a la conservación del área, disminuyendo y en algunos casos incluso impidiendo las transformaciones de coberturas naturales a coberturas antrópicas. Éstos, a su vez, constituyen un insumo para el SNAP, generando información de utilidad a la hora de evaluar si los objetivos de conservación que el mismo persigue han sido o están siendo alcanzados, sirviendo también como estudio de caso para comparar con otras áreas protegidas del país y de la región.

### 5.1. Metodología

A pesar de la eficiencia de la metodología utilizada, se identificaron ciertos errores o desventajas que podrían mejorarse en trabajos futuros con el fin de ofrecer resultados de mayor exactitud. La clasificación no supervisada (método ISODATA) sobre imágenes de mediana resolución (30x30m) generó algunos errores que podrían evitarse o atenuarse

utilizando una clasificación supervisada, con datos de campo e imágenes de mayor resolución.

Se observaron ciertas incongruencias en la representación de algunas de las categorías, principalmente en infraestructura, cuerpos de agua y afloramientos rocosos. En el caso de la infraestructura, su representación mostró variación en las tres fechas, siendo que no existió en el período ampliación de caminos y rutas. En la zona adyacente, por ejemplo, la representación fue en 1999 notoriamente más completa que en 2009, lo que generó una falsa disminución de la cobertura antrópica en dicha transición (1999-2009). Por su parte, los cuerpos de agua presentaron también errores de clasificación, siendo éstos principalmente del tipo geométricos. Al disponerse los arroyos entre medio de las galerías de bosque, su identificación resultó más engorrosa, siendo éstos clasificados en varias oportunidades dentro de los mismos polígonos que los bosques. Esto se evidenció en la representación dispar que presentaron los arroyos en las tres fechas, a pesar de que los mismos no variaron realmente. Por último, afloramientos rocosos fue la categoría peor representada, con una muy baja exactitud y confundida principalmente con pastizal, acorde a los resultados de la matriz de confusión.

## **5.2. Dinámica de la cobertura**

Durante el período estudiado, la tasa de cambio de la cobertura natural del suelo registró su valor mínimo dentro del área protegida y su valor máximo en la zona de influencia, en línea con lo que se esperaba.

Previo al ingreso al SNAP, entre 1999 y 2009, el AP presentó una ganancia de 50 ha de cobertura natural, lo que se contrapuso con la pequeña pérdida de casi 8 ha que mostraron los resultados en el período posterior a su declaración como Paisaje Protegido. No obstante, esta superficie de apenas el 0,17% del total del AP, no resultó ser significativa. De este modo se asume que, a partir del ingreso al SNAP, la cobertura natural se mantuvo prácticamente estable y sin cambios. Cabe destacar que en dicha categoría (natural) no se distinguió entre especies nativas y exóticas invasoras (por ej, la acacia y el pino), puesto que no se trabajó a nivel de especie y sí de ambiente, lo cual impidió, a la hora de discutir los resultados, considerar a las especies invasoras como responsables de la dinámica de la cobertura natural.

Finalmente, para las mismas categorías de aptitud del suelo, los cambios observados fueron mayores fuera del AP que dentro de la misma, siendo a su vez mayores en la ZI que en la ZA. Vale recalcar que las pérdidas fueron también mayores en la primera transición que en la segunda.

### **5.2.1. Primera transición (1999-2009)**

La ganancia de cobertura natural que se observó dentro del AP en la primera transición puede explicarse por dos motivos. En primer lugar, la infraestructura varió en su representación debido al mencionado error de clasificación, lo que generó una falsa disminución de la cobertura antrópica al 2009. La misma pasó a estar ocupada mayoritariamente por matorral y en menor cantidad por pastizal. También disminuyó en dicho período la forestación, desapareciendo el parche que se localizaba al norte del área (en zona de intervención alta). Esto puede deberse a la influencia del manejo (dicho sector corresponde al predio de la Intendencia de Treinta y Tres, área que ya estaba restringida de las acciones antrópicas) o simplemente por la cosecha del mismo.

En el 2009 la forestación y el cultivo experimentaron crecimiento tanto en la ZA como en la ZI, lo que generó en ambas zonas una disminución de la cobertura natural, principalmente de pastizal y en menor medida de matorral. En el caso de la ZA, ambas categorías crecieron un 3%, ubicándose las plantaciones forestales en grandes parches al norte/noreste y suroeste de la zona, y el cultivo en extensas zonas en la región central del área. En la ZI, la forestación se extendió más aún, creciendo un 5%, lo que se vio reflejado en la aparición de extensas plantaciones al oeste de la zona así como parches en el centro/este. En el caso del cultivo, el crecimiento fue de un 3%, consolidándose la región al sur, y apareciendo también al oeste y noroeste de la zona. El crecimiento de estas categorías significó una disminución del 10% del pastizal y un 1% del matorral.

### **5.2.2. Segunda transición (2009-2015)**

Durante la segunda transición, los cambios en el AP continuaron siendo principalmente dentro de la zona de intervención media y alta, aunque algunos tramos del camino vecinal que atraviesa la quebrada se ubican por dentro de la zona de intervención baja. En la zona de intervención mínima del área protegida no se registraron cambios en el uso del suelo. El mayor cambio de cobertura se observó en el norte del área, donde apareció un parche de forestación (inexistente hasta el 2009), aumentando dicha categoría un 0,1%. También se observó en ese período, que algunas zonas de bosque fueron reemplazadas por matorral y parte del afloramiento rocoso fue reemplazado por pastizal. En la ZA la forestación aumentó un 2%, manteniéndose los parches del 2009 y originándose también una extensa plantación en la región centro/este del área. El cultivo presentó una escasa disminución, consolidándose en la zona noreste y siendo algunas áreas reemplazadas por pastizal. También se registró una transición entre categorías naturales:

zonas de matorral y afloramiento rocoso fueron sustituidas por pastizal. Finalmente, en la ZI la forestación también aumentó un 2%. El suelo desnudo creció casi un 1%, modificando totalmente su distribución en el área; desaparecieron los parches del 2009 y surgieron nuevas zonas en la región sur y este. Parte del afloramiento rocoso fue sustituido por pastizal y matorral, lo que podría deberse a errores de clasificación o a una reducción de la carga ganadera. A su vez, el matorral también disminuyó, siendo reemplazado por pastizal y una minoría por bosque.

### **5.2.3. Aptitud del suelo**

Los cambios observados en los suelos de aptitud PF dentro del AP posiblemente puedan explicarse por errores de clasificación, principalmente en la categoría de infraestructura que fue mejor representada en 1999 que en 2009, generando así una falsa ganancia de cobertura natural en la segunda fecha. Sin embargo, los cambios registrados en la ZA y ZI, fueron debidos a aumentos tanto en la forestación como en el cultivo. En la ZA, hubo una sustitución de pastizal por plantaciones forestales al norte y noroeste de la zona, y grandes áreas de cultivo en la región centro/norte. En la ZI, el cambio fue más marcado: la poca superficie antrópica de 1999 (constituída por apenas unas zonas de cultivo, principalmente en el sur y noreste de la zona) adicionó al 2009 extensas plantaciones forestales (al noroeste del área) y grandes zonas de cultivo, estas últimas acompañadas en su gran mayoría por áreas de suelo desnudo. En la segunda transición, las pérdidas de cobertura natural en suelos de aptitud PF tanto en el AP como en la ZA, se debieron a la aparición de plantaciones forestales. En la ZI, ocurrió en el 2015 consolidación de las regiones de cultivo (al sur del área) y de forestación (al oeste del territorio, con la aparición de una gran cantidad de parches distribuidos al noreste y sur del área). Estas transformaciones implicaron pérdidas de pastizal y en menor medida de matorral.

Las ganancias de cobertura natural en los suelos de aptitud AP\_P fueron resultado, principalmente, de errores de clasificación. Las rutas del área resultaron peor representadas en el 2015, lo que generó una falsa disminución de la infraestructura y por consiguiente un falso aumento del pastizal en el período. Por último, en los suelos de aptitud R en la ZI, la aparición de parches de forestación en 2009 y su expansión en 2015 así como el crecimiento de la región sur de cultivo, significó una pérdida de pastizal y matorral en la zona.

### **5.2.4. Aumento de la actividad forestal**

La alta exactitud en la clasificación de la forestación permitió descartar errores de estimación, y por lo tanto afirmar que fue efectivamente la categoría antrópica que más aumentó en el período analizado, aumentando un 5% en la ZA y un 7% en la ZI. Este crecimiento fue una clara consecuencia de la Ley Forestal aprobada en 1987, que declaró de interés nacional la actividad forestal, creando un fondo para su financiación y estableciendo áreas de prioridad forestal (Alvarado 2005).

Los resultados son también coherentes con la evolución del rubro maderero a nivel nacional. A partir de la aprobación de dicha ley, la superficie de bosques plantados con fines industriales aumentó 26 veces, ocupando al 2015 el 58% de la cobertura boscosa del país. Para ese mismo año, las cifras de la Sociedad de Productores Forestales del Uruguay señalaron un aumento en las exportaciones del sector forestal, colocándolo en el segundo rubro exportador del país. Esto coincide con la tendencia creciente a la privatización y/o extranjerización de la tierra que caracterizó a Uruguay en el período 2000-2013 (Melo Pissón 2015), colocando en manos de empresas extranjeras aproximadamente la mitad del área plantada (Alvarado 2005). Esto podría explicar el aumento de la forestación en el período estudiado.

La actividad agrícola también aumentó en el período de 16 años, aunque en menor proporción que la forestación. El cultivo presentó en la ZA y ZI un aumento neto de 2 y 3% respectivamente, y el suelo desnudo duplicó su cobertura en la ZI. No obstante, cabe destacar que a partir del 2009, el cultivo presentó una leve disminución en ambas zonas. Esto podría deberse a las limitaciones que dichos suelos presentan frente a los cultivos.

### **5.3. Insumos para el SNAP**

La presente tesis permitió evidenciar lo que el SNAP significa en términos de conservación para el Uruguay, en lo que refiere a disminución de pérdida de hábitat. Las tasas de cambio fueron significativamente menores dentro del AP que fuera de la misma (tres veces y media menos en comparación con la ZA, y 19 veces si comparamos con la ZI). De hecho, las categorías antrópicas prácticamente no aumentaron a partir del momento de su declaración, a excepción del caso de la forestación que presentó un aumento de 0,1%. Por el contrario, se observó la recuperación en coberturas del suelo como el matorral y el pastizal. En el primero de los casos, la clase disminuyó casi un 8% previo a la declaración del área (siendo sustituida principalmente por pastizal y en menor medida por bosque), pero mostró una recuperación a partir del 2009, con un aumento del 2%. El pastizal presentó un aumento de tan sólo un 2% en la primera transición y de casi un 9% en la segunda. Sin

embargo, resulta necesario aunar controles en el cuidado del área, puesto que coberturas de gran valor natural aún no muestran signos de recuperación, como por ejemplo el bosque, el cual mostró una disminución de casi un 4% a partir del 2009.

La tasa de cambio de la ZA fue casi seis (6) veces menor que en la ZI, lo que sugiere una eficiencia producto de las restricciones establecidas para la misma. Sin embargo, a pesar de evidenciarse una disminución en la tasa de cambio de las categorías antrópicas, se observó una disminución constante en categorías como el matorral (pérdida neta de un 9%), lo que podría estar indicando que las restricciones impartidas en la zona deberían ser mayores para notar efectos positivos.

#### **5.4. Estudios de la región**

El reciente aumento en la tasa de cambio de uso del suelo en los ecosistemas naturales a nivel mundial, ha llevado al desarrollo de estudios similares a éste en diferentes regiones del mundo (Nagendra 2008; Paiva et al. 2015). La inmensa mayoría de este tipo de estudios, ha llegado a las mismas conclusiones, las cuales concuerdan también con los resultados hallados: las AP son eficientes en mantener o disminuir las tasas de cambio de uso del suelo (previniendo la deforestación y la pérdida de hábitats, y protegiendo los ecosistemas) (Maiorano et al. 2008), presentando tasas significativamente menores en comparación a las de su entorno (Nagendra 2008). A pesar de que los efectos varían según el grado de restricción de cada área (Paiva et al. 2015), los resultados sugieren que en ausencia de dichas áreas, la superficie antropizada sería aún mayor.

El ecosistema de pastizal del cual formamos parte es el más extenso de América del Sur (Demarúa et al. 2008) y paradójicamente, uno de los más amenazados del mundo, con la expansión de la agricultura y las plantaciones forestales como las principales amenazas para su conservación (Henwood 2010; Hoekstra et al. 2005). Su poca protección ha conducido a una alta modificación y gran pérdida de hábitats naturales, motivo por el cual resulta de gran importancia evaluar el impacto ambiental que el cambio en el uso del suelo genera sobre los mismos.

Debido a la aptitud agropecuaria de esta región pampeana, Argentina comparte un historial agrícola ganadero similar al nuestro (Demarúa et al. 2008). Ha presenciado una reciente expansión agrícola y forestal (Miñarro & Bilenca 2008), llevando a que casi la totalidad de las tierras con aptitud agrícola hayan sido convertidas en campos de cultivo (Demarúa et al. 2008). Esto convierte a los pastizales del Río de la Plata en los focos forestales de mayor crecimiento del continente (Jobbágy et al. 2006). El trabajo de Demarúa et al. (2008) analizó los pastizales de la provincia de San Luis durante los años 1985-2001,

encontrando en dicho período una reducción de los pastizales del 49% (casi la mitad) y una tasa de transformación anual que aumentó casi ocho veces en los últimos tres años de estudio, siendo la transformación principal a áreas de cultivo y pasturas (Demaría et al. 2008). Todo esto nos obliga a dirigir mayor atención a los pastizales de la ecorregión, que continúan sometidos a presiones agrícolas y disminuyendo con altas tasas de cambio. Sin embargo, tomando al PPQC a modo de referencia, podría pensarse que el ritmo de pérdida de pastizal para Uruguay es más lento que el experimentado por el país vecino, lo que podría deberse, al menos en parte, a las limitaciones que la creación (y gestión) de áreas protegidas y zonas adyacentes ofrece frente al cambio de uso del suelo.

### **5.5. Efectividad de las áreas protegidas**

Si bien las áreas protegidas (AP) son ampliamente reconocidas como la herramienta más importante disponible para la conservación "in situ", en muchos casos éstas no son eficientes en detener la degradación del hábitat, lo que se atribuye generalmente a ineficiencias en las estrategias de manejo adoptadas (Maiorano et al. 2008). Es muy debatido si existe o no una única forma óptima de alcanzar la efectividad de un AP, puesto que son varios los factores que inciden en la misma: tamaño del área (Maiorano et al. 2008; Blackman et al. 2015), grado de restricción (Paiva et al. 2015) y financiamiento. Algunos estudios afirman que no existe relación entre la inversión que un país realiza en sus APs y la efectividad de las mismas en limitar la tasa de cambio (Nagendra 2008). La falta de financiación y capacidad de gestión, ha llevado a la existencia de lo que en la actualidad se denomina "parques de papel" (i.e. áreas protegidas declaradas pero sin gestión). Sin embargo, hay evidencia de que estos parques de papel presentan el potencial de reducir el cambio en el uso del suelo. Independientemente del tipo de gestión (o no) que sea llevado a cabo en el mismo, el hecho de tener asociado una normativa especial puede acarrear un efecto positivo. Esto sucede no sólo con el área protegida, sino también con las zonas adyacentes. Al presentar tratamientos especiales (determinados en la normativa asociada al área protegida), presentan el potencial de hacer una contribución relevante, aunque sea disminuyendo el deterioro que ocurriría si el territorio no estuviera protegido por la normativa. Por lo que se concluye que, incluso careciendo de recursos suficientes, las áreas protegidas podrían traer beneficios de conservación (Blackman et al. 2015).

## **6. CONCLUSIÓN**

El Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos presentó, desde el momento de su declaración, una tasa anual de cambio de uso del suelo casi cuatro veces menor que la



presentada en su zona adyacente, y veinte veces menor que la de su zona de influencia. Dichas diferencias se mantuvieron incluso cuando los cambios fueron analizados en base a la aptitud del suelo, encontrándose éstos asociados mayoritariamente a los suelos de aptitud pastoril forestal (PF) y siendo marcadamente mayores en la primera transición (1999 a 2009) que en la segunda (2009 a 2015). Se concluye finalmente, que la declaración de áreas protegidas y zonas adyacentes contribuye a frenar el avance del cambio en el uso del suelo, disminuyendo la pérdida de hábitats y favoreciendo, consecuentemente, la conservación de la biodiversidad.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Achkar, M.; Cantón, V.; Díaz, I.; Domínguez, A.; Faccio, C.; Fernández, G.; Pesce, F.; Sosa, B. (2010). *Áreas protegidas. Un desafío en el ordenamiento ambiental del territorio*. Montevideo: Departamento de Publicaciones, Unidad de Comunicación de la Universidad de la República (UCUR).
- Achkar, M.; Domínguez, A.; Díaz, I.; Pesce, F. (2011). *La intensificación del uso agrícola del suelo en el litoral oeste del Uruguay en la última década*. Pampa. Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales, año 7, n° 7 suplemento especial temático, Santa Fe, Argentina, UNL (pp. 143-157).
- Achkar, M.; Domínguez, A.; Pesce, F. (2006). *Principales transformaciones territoriales en el Uruguay rural contemporáneo*. Pampa. Revista Interuniversitaria de Estudios Territoriales, año 2, n° 2, Santa Fe, Argentina, UNL (pp. 219-242).
- AGUT (2008). *Proyecto 1.6: Aptitud General de Uso de la Tierra*.
- Altesor, A.; Eguren, G.; Mazzeo, N.; Panario, D.; Rodríguez, C. (2008). *La industria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres*. Ecología Austral 18:291-303. Sección especial, Efectos de la industria de la celulosa. Asociación Argentina de Ecología.
- Alvarado, R. M. (2005). *Política forestal, inversión trasnacional y transformaciones territoriales en Uruguay*. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005 – Universidade de São Paulo, pp 566–591.
- Arbeletche, P. & Carballo, C. (2008-2009). *La expansión agrícola en Uruguay: algunas de sus principales consecuencias*. Revista de Desarrollo Rural y Cooperativismo Agrario, 12:7-20. Dpto. de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Paysandú, Uruguay.
- Barnosky, A. D.; Hadly, E. A.; Bascompte, J.; Berlow, E. L.; Brown, J. H.; Fortelius, M.; Getz, W. M.; Harte, J.; Hastings, A.; Marquet, P. A.; Martinez, N. D.; Mooers, A.; Roopnarine, P.; Vermeij, G.; Williams, J. W.; Gillespie, R.; Kitzes, J.; Marshall, C.; Matzke, N.; Mindell, D. P.; Revilla, E.; Smith, A. B. (2012). *Approaching a State Shift in Earth's Biosphere*. Nature, Vol. 486 (7401): 52-58.
- Bartesaghi, L.; Soutullo, A. (2010). *Clasificación y mapeo preliminar de ecosistemas naturales de Uruguay*. Proyecto Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay, SNAP.
- Blackman, A.; Pfaff, A.; Robalino, J. (2015). *Paper park performance: Mexico's natural protected areas in the 1990s*. Global Environmental Change, 31:50-61.

- Carrasco-Letelier, L.; Eguren, G.; Castiñeira, C.; Parra, O.; Panario, D. (2004). *Preliminary study of prairies forested with Eucalyptus sp. at the northwestern Uruguayan soils*. Elsevier, Environmental Pollution 127 (2004) 49–55.
- Céspedes-Payret, C.; Piñeiro, G.; Achkar, M.; Gutiérrez, O.; Panario, D. (2009). *The irruption of new agro-industrial technologies in Uruguay and their environmental impacts on soil, water supply and biodiversity: a review*. Int. J. Environment and Health, Vol. 3, No. 2, pp.175–197.
- Céspedes-Payret, C.; Piñeiro, G.; Gutiérrez, O.; Panario, D. (2012). *Efectos del Cambio de Uso del Suelo Sobre los Minerales Arcillosos*. III Jornadas del Cenozoico. Montevideo, Uruguay. 14 y 15 de junio del 2012.
- Chavez, Jr. Pat S. (1988). *An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data*. U.S. Geological Survey, 2255 N. Remote Sensing of Environment 24:459-479. ©Elsevier Science Publishing Co., New York.
- CIDE (1967). *Los suelos del Uruguay, su uso y manejo*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Oficina de programación y política agropecuaria, CIDE, Sector Agropecuario. Montevideo.
- Decreto N°52/005 del 16 de febrero de 2005. Reglamentación de la Ley N° 17.234 de 22/02/2000 que crea el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas. URL: <https://www.impo.com.uy/bases/decretos/52-2005>
- Demaría, M. R.; Aguado Suárez, I.; Steinaker, D. F. (2008). *Reemplazo y fragmentación de pastizales pampeanos semiáridos en San Luis, Argentina*. Ecología Austral 18:55-70. Asociación Argentina de Ecología.
- DINAMA / MVOTMA (2009). *Plan de Mediano Plazo 2010/2014*. Proyecto Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Uruguay (URU/06/G34).
- Dirzo, R.; Raven, P. H. (2003). Global state of biodiversity and loss . Annual Review of Environment and Resources Vol. 28, 137-167.
- Dudley, N. (2008). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN).
- Exelis Visual Information Solutions, Inc. (2007-2013). Versión 5.1
- FAO (2015). *ATLAS DE COBERTURA DEL SUELO DE URUGUAY. Cobertura de Suelo y Cambios 2000-2011*. Proyecto Fortalecimiento del conocimiento y la generación de Instrumentos de Ordenamiento Territorial Componente Cobertura del

Suelo Proyecto TCP/URU/3401. MVOTMA (Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente) - DINOT (Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial) - FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Montevideo.

- FAO (2016). *El Estado de los bosques del mundo 2016. Los bosques y la agricultura: desafíos y oportunidades en relación con el uso de la tierra*. Roma
- Fernández, G. (2011). *Evolución del Arroyo Valizas: Período 1943-2006. Laguna de Castillos, Rocha, Uruguay*. Tesis de maestría en Ciencias Ambientales. Orientadores: Prof. Daniel Panario y Dr. Marcel Achkar. Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo, Uruguay.
- Figueroa, F.; Sánchez-Cordero, V. (2008). *Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico*. *Biodiversity and Conservation*, 17:3223-3240.
- Figueroa, F.; Sánchez-Cordero, V.; Illoldi-Rangel, P.; Linaje, M. (2011). *Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente?*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82:951-963. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532011000300020](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000300020)
- Foley, J. A.; DeFries, R.; Asner, G. P.; Barford, C.; Bonan, G.; Carpenter, S. R.; Chapin, F. S.; Coe, M. T.; Daily, G. C.; Gibbs, H. K.; Helkowski, J. H.; Holloway, T.; Howard, E. A.; Kucharik, C. J.; Monfreda, C.; Patz, J. A.; Prentice, C.; Ramankutty, N.; Snyder, P. K. (2005). *Global Consequences of Land Use*. *Science*, Vol. 309. (5734): 570-574.
- Foley, J. A.; Ramankutty, N.; Brauman, K. A.; Cassidy, E. S.; Gerber, J. S.; Johnston, M.; Mueller, N. D.; O'Connell, C.; Ray, D. K.; West, P. C.; Balzer, C.; Bennett E. M.; Carpenter, S. R.; Hill, J.; Monfreda, C.; Polasky, S.; Rockström, J.; Sheehan, J.; Siebert, S.; Tilman, D.; Zaks, D. P. M. (2011). *Solutions for a Cultivated Planet*. *Nature*, Vol. 478: 337-342.
- Gallego, F. (2013). *Servicios ecosistémicos del pastizal: el seguimiento de un área protegida como sistema de referencia*. Tesis de maestría en Ciencias Ambientales. Orientador: Dra. Alice Altesor. Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo, Uruguay.
- Gallego, F. (2015). *Producto #6. Procesamiento Digital de Imágenes Satelitales Rapideye y Cartografía de Usos y Coberturas del Suelo de las Zonas Meta GEF5*,

parte del Proyecto “Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad, Resiliencia de los Ecosistemas y Cambio Climático”. MVOTMA - DINAMA - SNAP.

- Geymonat, G.; Lombardi, R. (2014). *Fauna y Flora de los Bosques de Uruguay. Guía Fotográfica para la identificación de especies frecuentes en bosques y ambientes asociados*. 2da edición ampliada.
- Giménez, A. & Castaño, J. P. (2012). *Estimación de áreas ocupadas por cultivos de invierno en Uruguay utilizando teledetección*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3(2):391-396.
- Google Earth Pro (2017). (Versión 7.3.0.3832) [Software] Disponible en: <https://google-earth-pro.softonic.com/>
- Gutiérrez, O.; Panario, D. (2014). *Implementación de un complejo forestal industrial, ¿una política de Estado? Estudio de caso: Uruguay*. Publicado por el Proyecto Colaborativo ENGOV - Gobernanza Ambiental en América Latina y el Caribe: Desarrollando Marcos para el Uso Sostenible y Equitativo de los Recursos Naturales. Documento de Trabajo No. 7. URL: [www.engov.eu](http://www.engov.eu).
- Hammer, Ø.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. (2001). *PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis*. (Versión 3.16) [Software] Disponible en: <https://folk.uio.no/ohammer/past/>
- Henwood, W. D. (2010). *Toward a Strategy for the Conservation and Protection of the World's Temperate Grasslands*. Great Plains Research: A Journal of Natural and Social Sciences, 20:121-134.
- Hoekstra, J. M.; Boucher, T. M.; Ricketts, T. H.; Roberts, C. (2005). *Confronting a biome crisis: Global disparities of habitat loss and protection*. Ecology Letters, 8:23-29.
- InBUy. Base de datos de Invasiones Biológicas para Uruguay. URL: <http://inbuy.fcien.edu.uy/>
- Jobbágy, E. G.; Vasallo, M.; Farley, K. A.; Piñeiro, G.; Garbulsky, M. F.; Noretto, M. D.; Jackson, R. B.; Paruelo, J. M. (2006). *Forestación en pastizales: hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos*. Agrociencia, X(2):109–124.
- Laufer, G.; Gobel, N.; Etchebarne, V.; Carabio, M.; Loureiro, M.; Altesor, A.; Cortés-Capano, G.; Pereira-Garbero, R.; Gallego, F.; Costa, B.; Serra, W. S.; Soutullo, A. (2015). *Monitoreo de biodiversidad del Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos*. MVOTMA-SNAP, MEC (Ministerio de Educación y Cultura), MNHN (Museo Nacional de Historia Natural), Embajada de España en Uruguay, AECID

(Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo), Cooperación Española.

- Ley N° 17.234 (2000). *Declárase de interés general la creación y gestión de un Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, como instrumento de aplicación de las políticas y planes nacionales de protección ambiental*. Senado y Cámara de Representantes de la República Oriental del Uruguay, Asamblea General, 9 de marzo del 2000, N° 25477.
- Lima, W. P. (1996). *Impacto ambiental do eucalipto*. Editora Universidade de São Paulo, 2nd ed., 301.
- Maiorano, L.; Falcucci, A.; Boitani, L. (2008). *Size-dependent resistance of protected areas to land-use change*. *Proceedings of the Royal Society*, 275:1297-1304.
- Martín, D. (2003). *La actividad forestal a través del censo agropecuario*. Estadísticas Agropecuarias (DIEA) / Área de Encuestas y Métodos Estadísticos / Área de Estudios Agroeconómicos.
- Melo Pissón, H. M. (2015). *Evolución de la silvicultura transnacional en Uruguay: las Políticas de Estado para el desarrollo de la industria celulósica y sus impactos territoriales*. 94 páginas. Trabajo de Conclusión de Curso (Graduación en Geografía) – Universidade Federal de Integración Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2015.
- Mena, Y.; Artavia, G. (Sin fecha). *Hacia la administración eficiente de las Áreas Protegidas: Políticas e indicadores para su monitoreo*. Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) - Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). Editorial INBio.
- MGAP / DIEA (2003). *La actividad forestal a través del censo agropecuario*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Estadísticas Agropecuarias. URL: <http://www.mgap.gub.uy/unidad-ejecutora/oficina-de-programacion-y-politicas-agropecuarias/estadisticas/produccion-vegetal/forestacion/forestal2003>
- Miñarro, F.; Bilenca, D. (2008). *The conservation status of temperate grasslands in Central Argentina*. Special Report, Fundación Vida Silvestre Argentina - FVSA. Buenos Aires.
- MVOTMA. URLs:  
(<http://www.mvotma.gub.uy/que-es-snap.html>)  
(<http://www.mvotma.gub.uy/areas-protegidas/item/10006528-quebrada-de-los-cuervos.html>)  
(<http://www.mvotma.gub.uy/areas-protegidas/item/10006532-esteros-de-farrapos-e-islas-del-rio-uruguay.html>)

(<http://www.mvotma.gub.uy/sala-de-prensa/item/10008182-mvotma-aprobo-el-plan-d-e-manejo-de-laguna-de-rocha.html>)

- MVOTMA (2008). Decreto Expte. 2005/05789 Asunto 79/2008. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Ministerio de Defensa Nacional. Montevideo, 29 de setiembre de 2008.
- MVOTMA (2013). *Educación para la conservación, pensando en las maestras*. Elaborado en el marco del Proyecto Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Uruguay (URU/06/G34).
- MVOTMA/SNAP (2015). *Plan Estratégico 2015-2020*. Elaborado en el marco del Proyecto Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Uruguay (URU/06/G34). Montevideo.
- MVOTMA (Sin fecha). *Manifiesto Quebrada de los Cuervos*. URL: <http://www.mvotma.gub.uy/j3/index.php/puesta-de-manifiestos/item/10005186-manifiesto-quebrada-de-los-cuervos>
- Nagendra, H. (2008). *Do Parks Work? Impact of Protected Areas on Land Cover Clearing*. AMBIO: A Journal of the Human Environment, 37(5):330-337. URL: <http://www.bioone.org/doi/full/10.1579/06-R-184.1>
- Nagendra, H.; Lucas, R.; Honrado, J. P.; Jongman, R.; Tarantino, C.; Adamo, M.; Mairota, P. (2013). *Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats*. Ecological Indicators, 33. Elsevier Ltd. Journal home page: [www.elsevier.com/locate/ecolind](http://www.elsevier.com/locate/ecolind).
- Nin, M. (2013). *Mapeo de servicios ecosistémicos en la cuenca de la Laguna de Rocha como un insumo para la planificación territorial*. Tesis de maestría en Ciencias Ambientales. Orientadores: Dr. Álvaro Soutullo y Dra. Lorena Rodríguez-Gallego. Facultad de Ciencias, UdelaR. Montevideo, Uruguay.
- Noss, R. F. (1990). *Indicators for Monitoring Biodiversity: A Hierarchical Approach*. Conservation Biology, 4(4), 355-364. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- OPP / OEA / BID (1992). *Uruguay - Estudio Ambiental Nacional*. Estudio ambiental realizado por el Gobierno de Uruguay (Oficina de Planeamiento y Presupuesto, OPP) en conjunto con la Secretaría Ejecutiva para asuntos económicos y sociales, del Departamento de desarrollo regional y medio ambiente, de la Organización de los Estados Americanos (OEA) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Washington D.C. URL: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea10s/oea10s.pdf>

- Ortiz, M. S.; Taks, J.; Schmid, B.; Thimmel, S. (2005). *Entre el desierto verde y el país productivo. El modelo forestal en Uruguay y el Cono Sur*. Edición Casa Bertolt Brecht y REDES-Amigos de la Tierra, Montevideo. 120 páginas. Modelo forestal / Cono Sur / Medio ambiente / Celulosa.
- Paiva, R. J. O.; Brites, R. S.; Machado, R. B. (2015). *The Role of Protected Areas in the Avoidance of Anthropogenic Conversion in a High Pressure Region: A Matching Method Analysis in the Core Region of the Brazilian Cerrado*. PLOS ONE, 10(7):1-24.
- Palomo, I.; Montes, C.; Martín-López, B.; González, J. A.; García-Llorente, M.; Alcorlo, P.; García Mora, M. R. (2014). *Incorporating the Social–Ecological Approach in Protected Areas in the Anthropocene*. BioScience XX: 1–11.
- Panario, D.; Gutiérrez, O.; Achkar, M.; Bartesaghi, L.; Ceroni, M. (2011). *Clasificación y mapeo de ambientes de Uruguay. Informe Técnico. (Unpublished Report)*. Convenio MGAP/PPR – Facultad de Ciencias / Vida Silvestre / Sociedad Zoológica del Uruguay / CIEDUR. 149p
- Petraglia, C.; Dell’Acqua, M. (2006). *Actualización de la Carta Forestal del Uruguay con Imágenes del año 2004*. Sistema de Información Geográfica de la Dirección General de Recursos Naturales Renovables - MGAP. Praderi, R.; Vivo, J. (1969). *Ríos y Lagunas*. Serie Nuestra Tierra (1969-1970), n° 36.
- Pullin, A. S. (2002). *Conservation Biology*. New York: Cambridge University Press.
- QGIS Geographic Information System, 1991. QGIS Geographic Information System (Versión 2.14.8). Development Team (1989-1991). Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin Street, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301 USA. URL: <https://qgis.org/es/site/>
- Rao, M.; Stokes, E.; Johnson, A. (2009). *Monitoring for Management of Protected Areas - An Overview*.
- Redo, D. J.; Aide, T. M.; Clark, M. L.; Andrade-Núñez, M. J. (2011). *Impacts of Internal and External Policies on Land Change in Uruguay, 2001–2009*. Environmental Conservation: 1-10. Junio 2012.
- RENARE (Sin fecha). *Proyecto 1.6: Aptitud General de Uso de la Tierra*. Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Dirección General de Recursos Naturales Renovables (RENARE). URL: <http://cebra.com.uy/renare/media/Aptitud-general-de-uso-de-la-tierra.pdf>
- Secades, C.; O’Connor, B.; Brown, C; Walpole, M. (2014). *Earth Observation for Biodiversity Monitoring: A review of current approaches and future opportunities for*



*tracking progress towards the Aichi Biodiversity Targets*. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montréal, Canada. Technical Series No. 72, 183 pages.

- Serrentino, C. (2013). *Cuenca Binacional de la Laguna Merín*. Centro del Agua para América Latina y el Caribe.
- Sicardi, M.; Frioni, L.; García-Préchac, F. (2005). *Monitoreo de la Calidad de los Suelos de Uruguay: Indicadores Microbiológicos*. Agrociencia. Vol. IX N° 1 y N° 2 pág. 277 - 283.
- SNAP (2008). *Plan de Manejo Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos*. Proyecto Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Uruguay (URU/05/001). DINAMA. URL: [http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/proyectos-de-cooperacion/Quebrada-cuervos\\_tcm7-344909.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/proyectos-de-cooperacion/Quebrada-cuervos_tcm7-344909.pdf)
- SNAP (2010). *Plan de Manejo Paisaje Protegido Quebrada de los Cuervos*. Proyecto Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Uruguay (URU/05/001). DINAMA. URL: [http://www.mvotma.gub.uy/images/%C3%A1reas\\_protegidas/Plan%20de%20Manejo%20PPQC\\_oficial%20junio%202011.pdf](http://www.mvotma.gub.uy/images/%C3%A1reas_protegidas/Plan%20de%20Manejo%20PPQC_oficial%20junio%202011.pdf)
- SNAP (2015). *Boletín Mayo*. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
- Soutullo, A. (2006). *Marco conceptual para la planificación de la conservación de la diversidad biológica: implicancias para el diseño de un sistema de áreas protegidas en Uruguay*. Proyecto Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (URU/05/001). Serie Documentos de Trabajo N°11.
- Stab, S.; Henle, K. (Sin fecha). *Research, Management, and Monitoring in Protected Areas*. Biodiversity Conservation and Habitat Management - Vol I. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- Suárez-Pirez, C.; Soutullo, A. (2013). *Actualización de los objetivos de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Uruguay. Componente continental y costero*. Documento elaborado en el marco del proyecto "Fortalecimiento del Proceso de Implementación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas de Uruguay" MVOTMA/DINAMA - PNUD/GEF (Proyecto URU/06/G34). 46pp.
- Tejera, R (2006). *La política de áreas protegidas en Uruguay (1993-2005)*. Tesis de licenciatura en Ciencias Políticas (Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la

República).

URL:

[https://www.colibri.udelar.edu.uy/bitstream/123456789/4949/1/TCP\\_TejeraRafael.pdf](https://www.colibri.udelar.edu.uy/bitstream/123456789/4949/1/TCP_TejeraRafael.pdf)

## ANEXOS

### Anexo I. Matrices de confusión de las tres clasificaciones de cobertura (1999, 2009 y 2015).

La diagonal en azul representa los aciertos de cada categoría.

	Clase Clasificación (Categoría)										Total	Exactitud	Error de omisión	
	Afl. Rocoso	Agua o humedal	Bosque	Cultivo	Forestación	Infraestructura	Matorral	Pastizal	Suelo desnudo					
Afl. Rocoso	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	86	14
Agua o humedal	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	100	0
Bosque	1	0	8	0	0	0	2	0	0	0	0	11	73	27
Cultivo	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	9	100	0
Forestación	0	1	0	0	10	0	0	0	0	0	0	11	91	9
Infraestructura	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	100	0
Matorral	0	0	1	1	0	0	7	0	0	0	0	9	78	22
Pastizal	3	0	1	0	0	0	1	9	0	0	0	14	64	36
Suelo desnudo	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	100	0
Total	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100		
Exactitud	60	90	80	90	100	100	70	90	100	100	100			
Error de comisión	40	10	20	10	0	0	30	10	0	0	0			

1999

	Clase Clasificación (Categoría)										Total	Exactitud	Error de omisión	
	Afl. Rocoso	Agua o humedal	Bosque	Cultivo	Forestación	Infraestructura	Matorral	Pastizal	Suelo desnudo					
Afl. Rocoso	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	7	71	29
Agua o humedal	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	100	0
Bosque	0	0	8	0	0	0	2	0	0	0	0	10	80	20
Cultivo	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8	100	0
Forestación	1	1	0	0	9	0	0	0	0	0	0	11	82	18
Infraestructura	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8	100	0
Matorral	3	2	2	0	1	0	8	0	0	0	0	16	50	50
Pastizal	1	2	0	2	0	0	0	10	0	0	0	15	67	33
Suelo desnudo	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	100	0
Total	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100		
Exactitud	50	50	80	80	90	80	80	100	100	100	100			
Error de comisión	50	50	20	20	10	20	20	0	0	0	0			

2009

	Clase Clasificación (Categoría)										Total	Exactitud	Error de omisión	
	Afl. Rocoso	Agua o humedal	Bosque	Cultivo	Forestación	Infraestructura	Matorral	Pastizal	Suelo desnudo					
Afl. Rocoso	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	100	0
Agua o humedal	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	75	25
Bosque	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	7	100	0
Cultivo	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	8	88	13
Forestación	0	0	2	0	10	0	0	0	0	0	0	12	83	17
Infraestructura	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	100	0
Matorral	0	1	0	0	0	0	10	0	0	0	0	11	91	9
Pastizal	2	3	0	3	0	0	0	8	0	0	0	16	50	50
Suelo desnudo	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	10	100	0
Total	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100		
Exactitud	80	60	70	70	100	100	100	80	100	100	100			
Error de comisión	20	40	30	30	0	0	0	20	0	0	0			

2015

**Anexo II.** Matrices de transición: **a.** 1999-2009 y **b.** 2009-2015. Cobertura (en hectáreas y porcentaje) de cada clase (Natural y Antrópico) en cada año y en las tres zonas de estudio (AP, ZA y ZI). Se detalla la tasa de cambio ( $\Delta$ ) correspondiente a cada período, también en hectáreas y porcentaje.

**a.**

	Clase	ha			%		
		1999	2009	$\Delta$	1999	2009	$\Delta$
AP	Natural	4.388,2	4.438,5	50,3	98,5	99,6	1,1
	Antrópico	67,5	17,2	-50,3	1,5	0,4	-1,1
ZA	Natural	9.641,1	9.641,1	9.641,1	99,0	93,2	-5,8
	Antrópico	97,8	97,8	97,8	1,0	6,8	5,8
ZI	Natural	66.397,4	61.375,9	-5.021,5	94,3	87,2	-7,1
	Antrópico	3.988,7	9.010,2	5.021,5	5,7	12,8	7,1

**b.**

	Clase	ha			%		
		2009	2015	$\Delta$	2009	2015	$\Delta$
AP	Natural	4.438,5	4.430,9	-7,7	99,6	99,4	-0,2
	Antrópico	17,2	24,9	7,7	0,4	0,6	0,2
ZA	Natural	9.075,0	9.023,1	-51,8	93,2	92,7	-0,5
	Antrópico	663,9	715,8	51,8	6,8	7,4	0,5
ZI	Natural	61.382,5	59.282,6	-2.099,9	87,2	84,2	-3,0
	Antrópico	9.010,6	11.110,4	2.099,9	13,0	16,0	3,0