

**Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ciencias Agrarias.
Ingeniería en Recursos Naturales Renovables.
Mendoza- Argentina.**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN BIOFÍSICA DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN LA
CUENCA DEL ARROYO GRANDE, TUNUYÁN, MENDOZA**



Autora: TERUYA, Jorgelina Tsuneko
Director: Ing. Agr. Leandro Mastrantonio

Lugar de Trabajo: Facultad de Ciencias Agrarias- UNCuyo
2015

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá y mi papá, Susana y Jorge, a mi hermano, Akira, por su inmenso amor, por el apoyo incondicional en el camino de la vida, por sus consejos y ayuda (que ha sido mucha) para lograr este gran objetivo.

A mi director Leandro le agradezco sus enseñanzas, la paciencia, los consejos y la amistad. Por el tiempo dedicado en este trabajo y el apoyo a la carrera y a sus estudiantes siempre.

A los evaluadores Portela José, Filipini María Flavia y Luis Rodríguez Plaza por sus aportes y consejos para perfeccionar este trabajo.

A vos Nacho por tu compañía y tus consejos en este proceso y en mi vida. Por ser el causante de mi sonrisa constante y llenar mi corazón de paz y felicidad.

A mis amigas y amigos (Agos, Heidi, Joha, Caro, Silvi, Leo, Andrés, Mojis y Lucho) por todos los momentos compartidos, por su cariño, por las risas y por hacer más linda la vida. ¡Gracias por estar siempre!

A Majo y Jorge con los que comparto todos los días, gracias por su apoyo en todo momento.

INDICE

Resumen	5
1. Introducción	6
2. Fundamentación	7
3. Objetivos e hipótesis	9
4. Marco Teórico	9
5. Descripción del área de estudio	15
5.1 Localización	15
5.2 Recursos Económicos – Población e industria	16
5.3 Clima.....	17
5.4 Geología	18
5.5 Características Hidrogeológicas	18
5.6 Hidrología	18
5.7 Suelos.....	19
5.8 Flora y Vegetación	21
5.9 Fauna.....	21
6. Materiales y Métodos	22
6.1 Evaluación la distribución espacial de tipos de ecosistemas dominantes y de variables biofísicas.....	22
6.2 Estimación de índices de Funciones Ecosistémicas.....	22
6.2.1 Almacenamiento de carbono en biomasa.....	23
6.2.2 Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo	23
6.2.3 Control de erosión por cobertura vegetal.....	25
6.2.3.1 Índice de erosividad de precipitaciones (R)	26
6.2.3.2 Factor de erodabilidad de suelos (K)	26
6.2.3.3 Factor LS.....	27
6.2.3.4 Factor de cobertura (C) y de prácticas de conservación (P).....	28
6.2.4 Protección de acuíferos por cobertura vegetal	28
6.3 Evaluación espacial de la provisión relativa de cada tipo de SE	32
6.4 Validación del protocolo ECOSER e identificación sus limitaciones y virtudes...34	
7. Resultados y Discusión	35
7.1 Evaluación de la distribución espacial de tipos de ecosistemas dominantes y de variables biofísicas.....	35
7.2 Estimación de índices de Funciones Ecosistémicas.....	36

7.2.1 Almacenamiento de carbono en biomasa.....	36
7.2.2 Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo	37
7.2.3 Control de Erosión por Cobertura Vegetal.....	38
7.2.4 Protección de acuíferos por cobertura vegetal	40
7.3 Evaluación espacial de la provisión relativa de los servicios ecosistémicos relevantes	42
7.3.1 Modelos y Mapas de Provisión de SE	42
7.3.1.1 Calidad del Aire	43
7.3.1.2 Disponibilidad de Agua Superficial Limpia.....	44
7.3.1.3 Calidad de Acuíferos	45
7.3.1.4 Producción Potencial de Cultivos, Producción Forestal y Producción Ganadera.....	46
7.3.1.5 Recarga de Acuífero.....	48
7.3.1.6 Recarga de Lagos y Embalses.....	49
7.3.1.7 Amortiguación de Inundaciones	50
7.3.1.8 Regulación Climática.....	51
7.3.1.9 Potencial de Recreación.....	52
7.3.2 Un aporte social.....	53
7.3.3 Análisis general	54
7.4 Validación del protocolo ECOSER e identificación de sus limitaciones y virtudes	55
8. Conclusiones	58
9. Contribuciones y Perspectivas Futuras.....	59
10. Bibliografía.....	61

Resumen

En el Valle de Uco (Mendoza, Argentina), se ha producido en los últimos años una reestructuración de los sistemas agroalimentarios, con un rápido avance de la frontera agrícola sobre el piedemonte. El estudio de los Servicios Ecosistémicos (SE), establece un vínculo explícito entre el bienestar humano y el adecuado funcionamiento del ecosistema (Balvanera et al., 2011).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad funcional y la provisión relativa de SE, de los principales ecosistemas presentes en la cuenca del Arroyo Grande, que integra el Valle de Uco.

Se utilizó el protocolo ECOSER como base de cálculo de las funciones y servicios ecosistémicos. Se compiló información de textura de suelos, coberturas del terreno, modelo digital de elevaciones e imagen LANDSAT del 27/02/11. Con los cuales, mediante el sistema de información geográfica QGIS 2.6.1 Brighton, se calculó el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y se localizaron espacialmente los tipos de ecosistemas dominantes (TED). Se consideraron cuatro funciones ecosistémicas (FE). La identificación de cada SE y su provisión relativa se calculó como la combinación lineal del flujo de cada FE ponderado por su aporte relativo al correspondiente SE, según propone el protocolo ECOSER. Por último, mediante la generación de mapas, se evaluó espacialmente la provisión de SE, identificando zonas de generación, propagación y captura, y su direccionalidad (in situ, direccional u omnidireccional).

Se diferenciaron dos tipos de ecosistemas dominantes, el Agroecosistema y el Monte Nativo. Respecto a los SE identificados, la producción agrícola (cultivos, ganadera y forestal), junto con la recarga de acuíferos, fueron los de mayor provisión. Los menos provistos por la cuenca son los de regulación climática y de calidad del aire.

Se concluyó que existen diferencias en la provisión de SE según los usos del suelo, siendo el Agroecosistema proveedor de un mayor número de servicios, dentro de los 11 analizados. Sin embargo, parte de los SE brindados dependen de otros servicios proporcionados por el Monte Nativo. La función del Monte Nativo como proveedor de servicios de provisión de agua y de calidad de agua, en la parte alta de la cuenca, es importante y necesaria en la producción de otros servicios, como los relacionados con el aprovisionamiento de madera, ganado y alimentos, que son brindados por el Agroecosistema. Tener en cuenta esta dinámica de la cuenca, plasmada en los mapas de provisión, permite tomar decisiones sobre el uso del agua y del suelo. El presente trabajo aporta la aplicación de una herramienta que puede ayudar en la resolución de problemas, en ser soporte en la toma de decisiones para el ordenamiento territorial, como así también para el uso y manejo de ecosistemas, y en la formación de paisaje.

Palabras claves: servicios ecosistémicos, funciones ecosistémicas, variabilidad espacial.

1. Introducción

Todos nosotros dependemos por completo de los ecosistemas de la Tierra y de los servicios que éstos proporcionan, como los alimentos, el agua, la gestión de las enfermedades, la regulación del clima, la satisfacción espiritual y el placer estético. En los últimos 50 años, los seres humanos, hemos transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo de nuestra historia con el que se pueda comparar, en gran medida para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimentos, agua dulce, madera, fibra y combustible. Las consecuencias de ello han sido beneficios netos para el bienestar humano y el desarrollo económico. Pero no todas las regiones ni todos los grupos de personas se han beneficiado de este proceso, de hecho, a muchos les ha perjudicado. Además, sólo ahora se están poniendo de manifiesto los verdaderos costos asociados con esos beneficios (MEA, 2005).

El concepto de “servicios ecosistémicos” (SE), para los académicos y programas internacionales, o “servicios ambientales” para las secretarías o ministerios son equivalentes de forma parcial. Aunque lo que realmente importa es lo que quieren sugerir al demostrar que *“la conservación de los ecosistemas no es sólo una aspiración ética de la sociedad sino también una necesidad estrechamente ligada a la satisfacción de las necesidades básicas de la vida humana”* (Balvanera et al, 2011)

El camino desde los ecosistemas hasta el bienestar humano queda de manifiesto en la “Cascada de Servicios Ecosistémicos” de Haines-Young y Potschin (2010) (Figura 1). Según este modelo, las estructuras biofísicas determinan las funciones ecosistémicas. Estas funciones se integran y definen servicios ecosistémicos cuando están vinculadas a algún aspecto del bienestar humano. Mediante la intervención del capital humano, los servicios se transforman en beneficios, que son valorados por las personas. Los valores influyen sobre las fuerzas de presión que alteran/modifican los ecosistemas y sus propiedades.

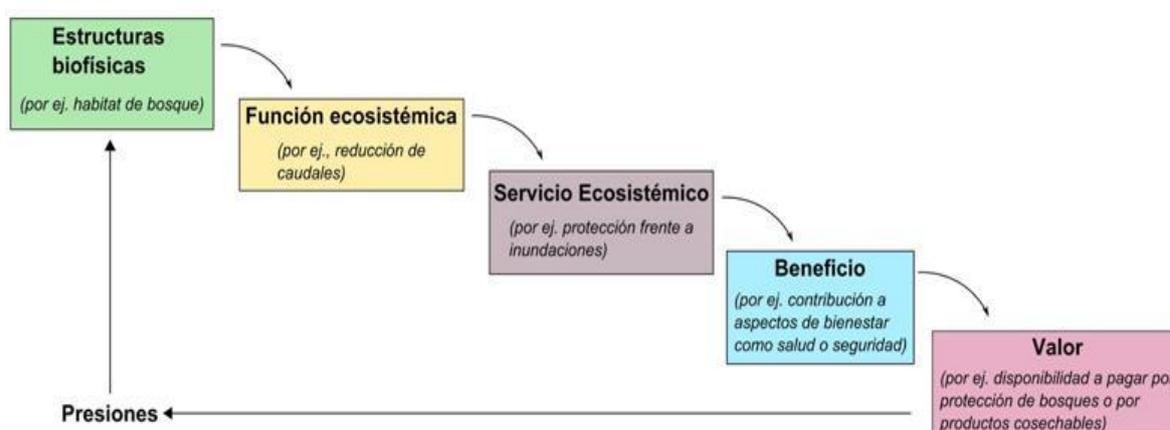


Fig. 1: “Cascada de Servicios Ecosistémicos” de Haines-Young y Potschin (2010)

Las funciones del ecosistema que soportan servicios de regulación del ambiente humano son dependientes tanto de factores bióticos como abióticos, donde la influencia relativa de la biodiversidad es poco conocida, o bien, es de importancia menor (Balvanera et al., 2006, Egoh et al., 2007, en Balvanera et al., 2012). En cambio, es bien conocida la influencia de los factores físicos del ambiente en interacción con los principales tipos fisonómicos de la vegetación sobre funciones tales como resistencia a la erosión del suelo, infiltración y almacenaje del agua de lluvia, y retención de sedimentos y nutrientes transportados por escorrentía y lixiviación. En tales casos, la relevancia que adquieren los procesos de transporte lateral y vertical obliga a tomar en cuenta tanto la influencia del entorno sobre la provisión de servicios in situ como las externalidades de esos servicios hacia el entorno (Van Noordwijk et al, 2004 en Laterra et al, 2009). La conservación, manejo y conversión de ecosistemas considerando su capacidad para proveer múltiples servicios a la sociedad, es un nuevo paradigma que implica el reconocimiento de la existencia de sinergias y conflictos (compromisos o *trade-offs*) entre la provisión de servicios provistos por usos alternativos de la tierra. Ese reconocimiento lleva a la necesidad de tomar decisiones sobre el uso de la tierra basadas en la integración de un amplio conjunto de conocimientos (Laterra et al, 2009). Ello enmarcado, en el caso de la Provincia de Mendoza, por la Ley N°8.051 de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo, utilizando la planificación como instrumento básico para conciliar el proceso de desarrollo económico, social y ambiental con formas equilibradas y eficientes de ocupación territorial.

2. Fundamentación

Argentina, al igual que otros países latinoamericanos, se encuentra atravesando una nueva fase de intensificación y expansión de la agricultura, donde las tasas de transformación y reemplazo de bosques, arbustales, pastizales y humedales pueden comprometer su desarrollo en el largo plazo (Zak et al. 2004, Paruelo et al. 2005, Boletta et al. 2006, en Laterra et al., 2011).

Según Pizzolato et al. (2010), en la región del Valle de Uco se ha producido en los últimos años, a semejanza de otras regiones del país y el mundo, una importante reestructuración y transnacionalización de los sistemas agroalimentarios con consecuencias en la ruralidad de la misma, cambiando la realidad en la que deben actuar los sistemas de extensión y transferencia de tecnología, como así también los de gestión y administración del territorio.

El desarrollo explosivo de la agricultura en la zona alta de la cuenca del río Tunuyán Superior se produjo en la década del 90. A partir de la aplicación de la tecnología de riego presurizado, grandes emprendimientos destinados a la implantación de uvas finas para

vinificar determinaron un rápido crecimiento del área cultivada con el uso masivo del agua subterránea (Pizzolato et al, 2010).

Por otra parte, Chambouleyron et al, (2002) estiman que a medida que la extracción de agua subterránea se haga más intensa, disminuirá el caudal de los arroyos y vertientes que egresan del área superior. Estos que actúan como, colectores de desagües y drenajes, afectarán la calidad del agua aportada luego al río Tunuyán Inferior, generando un lógico impacto sobre el rendimiento de los cultivos desarrollados en su área de influencia, una de las más importantes zonas agrícolas de la provincia.

Vista Flores, comprendida dentro del área de estudio, es uno de los distritos del departamento de Tunuyán, donde se desarrolla este nuevo modelo, movilizado por importantes emprendimientos vitivinícolas, muchos de ellos con capitales internacionales, que avanzaron sobre el piedemonte extendiendo la frontera irrigada. (Pizzolato et al, 2010). No sólo eso, algunos de estos emprendimiento diseñan la disposición de sus viñedos sin respetar los cauces de agua superficial y/o aluvionales, o sencillamente modificándolos, sin tomar los recaudos de generar la suficiente cobertura vegetal, de conservar la cobertura natural para la retención de sedimentos y de no modificar la topografía natural, que cumple la función de disminuir la energía cinética del agua, al ser el terreno irregular. Esto ha generado en el último tiempo que tanto el distrito de Vista Flores como Colonia de las Rosas sufran inundaciones con las lluvias estivales, de carácter torrencial en la zona.

Ante la gravedad de la problemática ambiental, se han adoptado modelos y marcos conceptuales derivados de los llamados países industriales, corriendo el riesgo de producirse un divorcio entre la investigación y las necesidades y características propias de la región. Es entonces necesario generar enfoques y marcos conceptuales que se nutran de los diagnósticos de nuestra realidad (Balvanera et al, 2011) para conformar soluciones propias, novedosas y funcionales.

El estudio de los Servicios Ecosistémicos (SE) o beneficios percibidos por la sociedad, establece un vínculo explícito entre el bienestar humano y el adecuado funcionamiento del ecosistema (Balvanera et al, 2011). Cualquier decisión de manejo puede tener efectos negativos o positivos sobre los diferentes servicios ecosistémicos y conducir a relaciones de compromiso entre ellos. Por ejemplo, decisiones de manejo tienden a favorecer la provisión de servicios como el alimento, agua o madera a expensas de la regulación de servicios ecosistémicos como el clima o la calidad del agua (Bennett y Balvanera, 2007; Raudsepp-Hearne et.al, 2011, en Balvanera et al., 2012). El principal desafío es definir cómo decidir la óptima asignación y administración de múltiples opciones de usos distintos de la tierra. (FAO, 1999; OECD, 2001; Hollander, 2004; Wilson, 2004; Bills and Gross, 2005; Hein et al.,

2006, en De Groot et al., 2009). Lo que convierte al enfoque de SE en una posible herramienta de resolución de conflictos ambientales, de toma de decisiones respecto a ordenamiento territorial y bienestar humano, al uso y manejo de los ecosistemas y a la formación del paisaje.

3. Objetivos e hipótesis

Este trabajo tiene como objetivo general evaluar la capacidad funcional de ecosistemas y la provisión relativa de servicios ecosistémicos de la cuenca del Arroyo Grande, a partir de la aplicación del protocolo ECOSER (Latterra et al., 2011) de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos (EMSE), capaz de generar mapas de oferta, servicios, beneficios y vulnerabilidad.

Los objetivos particulares consisten en:

- i) Evaluar la distribución espacial de tipos de ecosistemas dominantes y de variables biofísicas;
- ii) Estimar índices de funciones ecosistémicas;
- iii) Evaluar espacialmente la provisión relativa de los servicios ecosistémicos relevantes.
- iv) Testear el protocolo ECOSER e identificar sus limitaciones y virtudes

Se plantea la hipótesis de que existen diferencias en la provisión de SE según los usos del suelo.

4. Marco Teórico

El concepto de servicios ecosistémicos (SE) se remonta al menos a la década de 1970, pero cobró impulso en la literatura científica en 1990 (e.g. De Groot, 1992; Costanza et al., 1997; Daily, 1997, en De Groot, 2009). El concepto fue incorporado por la Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2003, 2005, en De Groot, 2009), con propósitos puramente operacionales y con la intención de facilitar la toma de decisiones (Valdez y Ruiz, 2011).

El MEA distinguió servicios de:

- ❖ **Aprovisionamiento:** productos obtenidos del ecosistema. Por ejemplo, agua dulce, alimentos, leña, fibras, bioquímicos, recursos genéticos.
- ❖ **Soporte:** necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos. Como formación de suelos, reciclaje de nutrientes y producción primaria.

❖ Regulación: beneficios obtenidos de la regulación de los procesos del ecosistema. Como la regulación del clima, regulación de enfermedades, regulación y saneamiento del agua, polinización.

❖ Culturales: beneficios no materiales que la gente obtiene de los ecosistemas. Como por ejemplo, espiritual y religioso, recreativo y turístico, estético, inspirativo, educativo, herencia cultural.

Desde entonces los esfuerzos para poner en práctica este concepto han aumentado fuertemente (e.g. Daily y Matson, 2008; Tallis et al., 2008, en De Groot, 2009). Sin embargo, todavía hay mucho debate sobre la mejor manera de definir la distinción entre las funciones y servicios de los ecosistemas, y la forma de clasificarlos con el fin de hacerlos cuantificables de forma coherente (e.g. Wallace, 2007; Fisher et al., 2009, en De Groot, 2009).

La idea de SE ha tenido, desde su formalización en ámbitos académicos una presencia creciente en la discusión de la problemática ambiental. El informe del Millennium Ecosystem Assessment (2004) asocia con claridad el nivel de provisión de SE con el bienestar humano. Un atractivo particular desde el punto de vista biofísico es la posibilidad de establecer un vínculo directo entre los SE y el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas (Costanza et al., 1997). La difusión de la idea de SE estuvo acompañada de la expectativa de tornarla operativa para la resolución de conflictos ambientales y/o la evaluación de las consecuencias del cambio en el uso del suelo (Paruelo, 2011).

El estudio de SE se ha desarrollado a muy alta velocidad en las últimas décadas (Nicholson et al., 2009, en Balvanera et al., 2012). El reciente crecimiento, puede ser atribuido a la utilidad de SE como concepto que vincula explícitamente a los ecosistemas con las necesidades humanas. Siempre teniendo en cuenta que las aplicaciones específicas, enfoques y resultados de marcos de investigación y de intervención en la toma de decisiones sobre SE, no pueden ser interpretados sin prestar atención a la forma como se definen los enfoques, la historia, la geografía y el contexto socio-político en el cual se desarrollan (Balvanera et al., 2012).

En años recientes se han desarrollado diversos enfoques metodológicos para la cuantificación y mapeo de SE. En el trabajo de Nahuelhual et al. (2013), estos enfoques se pudieron clasificar, en términos generales, en tres tipos. El primero consiste en la transferencia de beneficios obtenidos desde estudios puntuales a regiones completas o al planeta en su totalidad. El segundo consiste en modelar la producción de un SE, en un área acotada, a través de una función de producción ecológica que relaciona el flujo del SE con

las variables ecológicas locales. Por último, el tercer y más reciente enfoque es la evaluación socio-ecológica de SE que enfatiza los valores y las propiedades sociales por sobre los indicadores económicos.

A pesar de los importantes avances en la evaluación de SE, revisiones recientes de literatura dan cuenta de la falta de consistencia y adecuación de los enfoques de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos (EMSE) para la toma de decisiones, lo cual cuestiona la confiabilidad de los métodos (Nahuelhual et al., 2013).

Diversos autores han asociado la falta de consistencia metodológica a la ausencia de marcos conceptuales más precisos. Investigaciones de bibliografía revelan la gran diversidad de lo que se mapea bajo el concepto de SE. Esto muestra la confusión que aún existe entre los conceptos de función, servicio y beneficio (Grêt-Regamey et al., 2012, en Nahuelhual et al. 2013). Esta situación presenta un problema para los tomadores de decisiones y quienes elaboran políticas y también para los investigadores en el tema, ya que limita el desarrollo de metodologías consistentes y consecuentemente dificulta evaluar la credibilidad de los resultados y reduce su compatibilidad (Seppelt et al., 2011, en Nahuelhual et al., 2013).

Últimamente el uso de la concepción de SE se ha destinado a apoyar el desarrollo de las intervenciones, políticas o planes de gestión que integran el funcionamiento de los ecosistemas y los beneficios que proveen a las sociedades en la toma de decisiones hacia la sostenibilidad (Nelson et al., 2009; Simpson y Vira, 2010; McKenzie et al., 2011, en Balvanera et al., 2012). La evaluación de políticas públicas orientadas al desarrollo sustentable del territorio rural puede resultar facilitada por la consideración de la provisión sostenida de SE como principio integrador de los múltiples beneficios que ofrecen los ecosistemas a la sociedad (Cork y Proctor, 2005, en Laterra et al., 2011).

No obstante, varias cuestiones siguen sin resolverse para integrar completamente el concepto de SE todos los días en el ordenamiento, administración y decisiones de manejo del territorio (de Groot et al., 2009). Una de ellas está sujeta a limitaciones metodológicas y de disponibilidad de información, en ambos casos necesarias para valorar los ecosistemas según su capacidad para proveer esos servicios (Laterra et al., 2011).

Como ya mencionamos, a pesar del sostenido crecimiento de las investigaciones sobre SE, se necesita aún cuantiosa información. Además los estudios necesitan conectar procesos ecológicos, potencial oferta de SE, actual entrega de SE a la sociedad y valoración de los mismos (Balvanera et al., 2012). Las investigaciones sobre oferta potencial de SE, es aún limitada a unos pocos servicios, gran parte de ellos globales e impactos regionales. Deben ser tenidos en cuenta, con particular importancia, los servicios relevantes de interés

local como las condiciones microclimáticas, las inundaciones, el control de la erosión, etc. (Balvanera et al., 2012).

Nahuelhaul et al.(2013) plantea la necesidad de enfoques cada vez más integrados y adaptados a escalas locales, que es donde ocurre la mayor parte de las decisiones en relación al uso y manejo de los ecosistemas. Cabe destacar, que esto requiere mayor integración de elementos de la cascada de servicios propuesta por Haines- Young y Potschin (2010) y de enfoques. Los elevados requerimientos de información y técnica de análisis para EMSE dificultan o restringen el poder abordar tales niveles de integración.

Existen herramientas de EMSE robustas en cuanto a su integración de elementos de la cascada y a la vez lo suficientemente amigables como para facilitar su adopción para responder a demandas concretas (Nahuelhaul et al., 2013) Entre ellas se encuentra el protocolo ECOSER (Latterra et al., 2011) de mapeo de servicios, que incluye niveles en todo ámbito de la cascada siendo capaz de generar mapas de oferta, servicios, beneficios y vulnerabilidad.

El protocolo ECOSER valora las unidades del paisaje según su capacidad para brindar SE. A fin de lograrlo, orienta la evaluación de esos SE mediante la identificación de los SE finales o directamente disfrutados por la sociedad (Boyd y Banzhaf, 2007, en Latterra, et al., 2011) y la cuantificación de los procesos ecosistémicos capaces de soportar esos SE en forma directa o indirecta. Esos procesos son equivalentes a los “servicios intermedios” en la clasificación de Fisher y Turner (2008) (Latterra et al., 2011), y a las “funciones ecosistémicas” definidas por de Groot et al. (2002) (Latterra et al., 2011).

A continuación se sintetizan las definiciones básicas sobre SE y sobre conceptos afines adoptadas en el protocolo:

- ❖ Procesos ecosistémicos: transferencia de materia y energía dentro del ecosistema (e.g., secuestro de carbono, control de erosión, almacenaje de agua en humedales, infiltración de agua en suelos, regulación poblacional)

- ❖ Funciones ecosistémicas (FE): procesos ecosistémicos que contribuyen a la provisión de beneficios directos de los ecosistemas a la sociedad o “servicios ecosistémicos” (e.g., secuestro de carbono por su contribución al mantenimiento de la composición atmosférica y estabilidad del clima, control de erosión por su contribución a la provisión de alimentos y provisión de agua limpia, almacenaje de agua en humedales por su contribución a la amortiguación de inundaciones).

❖ Servicios ecosistémicos (SE): beneficios directos del funcionamiento de los ecosistemas (o de las “funciones ecosistémicas”) para la sociedad humana. El nivel de SE efectivamente percibidos por la sociedad depende de la producción, disponibilidad (provisión) y capacidad de utilización de los mismos.

❖ Valor social y/o económico de los SE: consiste en estimaciones cualitativas o cuantitativas, no necesariamente monetarias, de la importancia relativa de distintos beneficios derivados del funcionamiento de los ecosistemas para las sociedades humanas.

El protocolo ECOSER es un esquema de procedimientos para la evaluación no monetaria y el modelado de la distribución espacial de servicios ecosistémicos y de la vulnerabilidad ambiental asociada a la pérdida de los mismos, aplicable a un amplio rango de escalas espaciales y calidad de información (Latterra et al., 2011). En el procedimiento se destacan características fundamentales y distintivas, como: a) la estimación indirecta de la provisión relativa de SE a través del flujo de las funciones que los soportan en cada tipo de ecosistema, b) el ajuste de esas funciones a las condiciones particulares de cada sitio y de su contexto espacial, y c) la integración entre métodos de evaluación biofísica y métodos de valoración social y/o económica. (Latterra et al., 2011)

La capacidad intrínseca de un ecosistema para proveer SE puede ser evaluada, en forma independiente de la percepción de la sociedad sobre su importancia relativa, mediante el reconocimiento, la cuantificación y la integración del conjunto de procesos biofísicos que lo soportan. *Así por ejemplo, para una sociedad con una demanda de alimentos insatisfecha, un sitio cubierto por bosques desarrollados sobre suelos de baja aptitud agrícola pero con alta capacidad de secuestro de carbono (y por consiguiente una alta contribución a la regulación atmosférica) puede ser menos valioso (“ofrecer” menos SE) que el mismo sitio transformado en cultivos anuales de bajo rendimiento (Latterra et al., 2011).* Es por ello, que la combinación entre la percepción social acerca de la importancia relativa de esos SE y la capacidad intrínseca de ese ecosistema para proveer los distintos tipos de SE son importantes para lograr solucionar los conflictos ambientales que se generan respecto al uso del suelo.

Las evaluaciones biofísicas de los SE varían según el modo en que las funciones son integradas para estimar la provisión de servicios y con su capacidad para tomar en cuenta la influencia de las propiedades locales y del contexto espacial sobre la capacidad funcional de un mismo tipo de ecosistema. Un mismo tipo de SE resulta de la variación independiente de un conjunto de funciones ecosistémicas y, a su vez, una misma función ecosistémica puede sustentar en forma variable a distintos SE (Scott et al., 1998, en Latterra et al., 2011). Los métodos que ignoran la configuración espacial de los ecosistemas dentro del territorio

(Wang et al., 2006, en Laterra et al., 2011) pierden la sensibilidad frente a variaciones en los contextos ecológicos y socioeconómicos capaces de modificar la influencia del ambiente local, por ende la provisión y valoración de los SE se modifica o es erróneamente cuantificada.

Particularmente ECOSER se encuentra formado por dos módulos: 1) la evaluación de la capacidad del sitio de proveer SE, ponderados por el valor social de los mismos, y 2) la evaluación de la vulnerabilidad del sitio a la pérdida de SE capturados o utilizados por la sociedad. El primer módulo tiene como objetivo la generación de mapas de provisión relativa de los SE de interés y de su provisión conjunta ponderada (“oferta de SE”) mediante un criterio de valoración social o económica (Figura 2). A partir de esa oferta, el segundo módulo tiene como objetivo la estimación explícita en términos espaciales de la vulnerabilidad ambiental por pérdida de SE, así como su simulación frente a distintos escenarios de uso de la tierra. (Laterra et al., 2011).

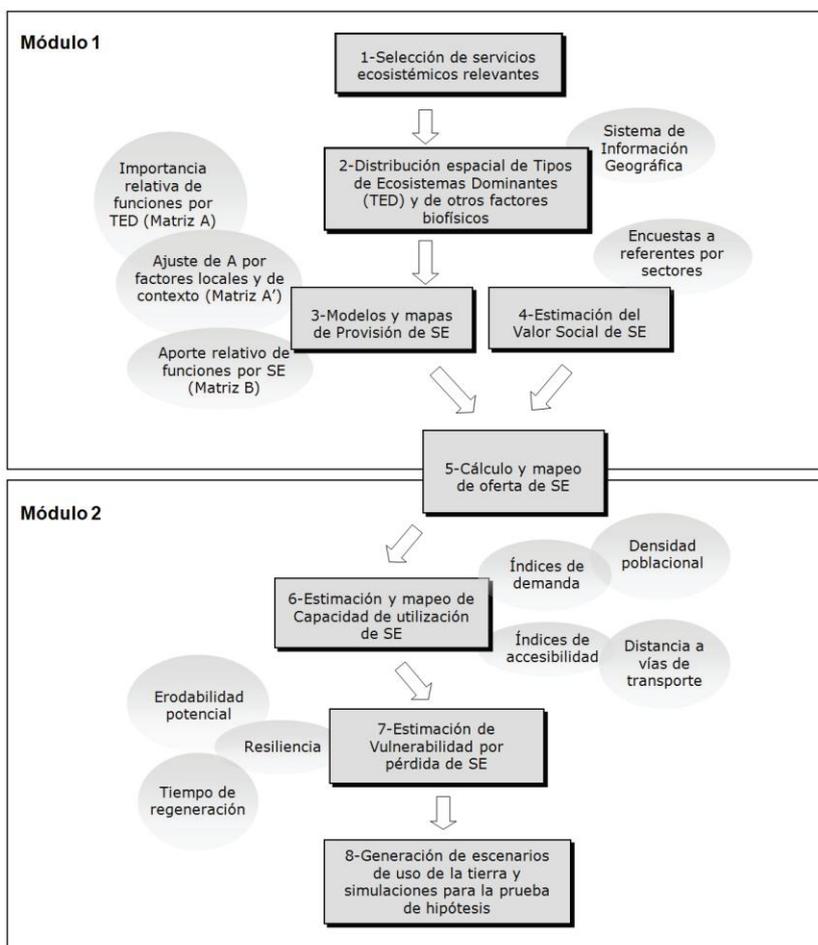


Fig 2: Pasos (cajas) e insumos (elipses) del modelo ECOSER para la simulación de cambios en la configuración espacial de provisión de bienes y servicios ecosistémicos (SE) y sus consecuencias sobre la vulnerabilidad ambiental a escala de paisajes. Fuente: (Laterra et al., 2011).

En el presente trabajo se abarcan los tres primeros pasos del modulo 1 de la figura anterior, con el fin de lograr la generación de mapas de provisión de SE.

Este protocolo puede aplicarse en una cuenca, un paisaje o una porción arbitraria del territorio en la que se reconocen elementos del paisaje (e.g., parches, corredores, matrices) relativamente homogéneos, caracterizadas por un tipo de ecosistema dominante (TED). A su vez, esos elementos del paisaje se encuentran conformados por una o más celdas regulares (píxeles), cuyo TED y condición local y de paisaje particular son utilizados a través de este protocolo para obtener el flujo de servicios ecosistémicos o capacidad funcional de cada celda. De esta forma, los resultados de la aplicación de este protocolo para cada celda del paisaje bajo estudio pueden ser exportados y mapeados mediante un sistema de información geográfica (SIG), o pueden ser obtenidos de forma directa mediante modelado en SIG en base a los algoritmos y bases de datos provistos por ECOSER (Latterra et al., 2011).

5. Descripción del área de estudio

5.1 Localización

El área de estudio corresponde a las cuencas media y baja del Arroyo Grande, entre los 33° 34' y 34° 37' de latitud Sur y entre los 69° 00' y 69° 23' de longitud Oeste. Se ubica políticamente en el departamento Tunuyán, el cual conforma, junto con los departamentos de Tupungato y San Carlos, la región denominada Valle de Uco, en el centro oeste del territorio provincial (Fig. 3). Se sitúa hacia el oeste de la ciudad de Tunuyán e incluye parte de los distritos de El Encuentro, Los Sauces, Villa Seca y Vista Flores.

Forma parte del Área Natural Protegida Manzano - Portillo de Piuquenes, por Ley Provincial N°8.400, sancionada en el año 2012. Categorizada como Reserva de Uso Múltiple y Reserva Recreativa Natural, la misma busca cumplir con los objetivos de conservación de los recursos hídricos, flora, fauna, suelo, paisaje y material arqueológico, existente dentro de la misma, preservar las fuentes de agua que irrigan el oasis productivo del Valle de Uco, potenciar los atractivos turísticos de los Departamentos de Tunuyán, Tupungato y San Carlos, en lo que refiere a su zona de montaña y preservar todo lo referente al patrimonio cultural existente en la zona (Ley Provincial N° 8.400/12).

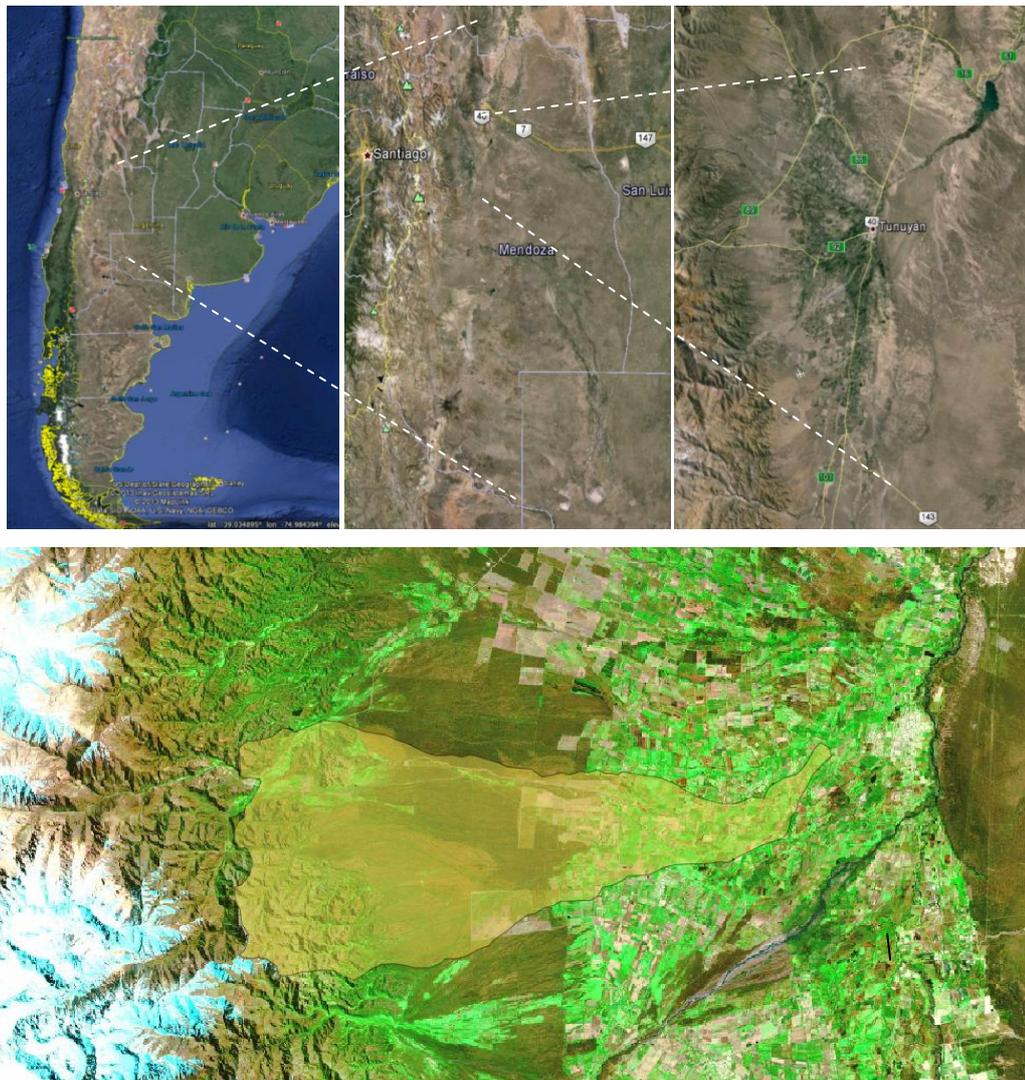


Fig 3: Ubicación de la zona de estudio. Fuente: Google Earth

5.2 Recursos Económicos – Población e Industria

Históricamente el Valle de Uco fue identificado por su producción de frutales de pepita (peras y manzanas), sobre todo en Tunuyán y una viticultura con pequeños productores de variedades viníferas de calidad en San Carlos y Tupungato. Asimismo la producción de nueces en Tupungato es tradicional tanto como el desarrollo forestal para la provisión de maderas para envases en San Carlos.

Actualmente el panorama está modificado: la zona alta del valle, en especial lo que comprende a Tupungato y Tunuyán ha sido colonizada por importantes emprendimientos vitivinícolas; muchos de ellos con capitales internacionales; que avanzaron sobre el piedemonte ampliando la frontera irrigada para la producción de uvas finas para vino. La escasez de nueces y su alto precio asimismo promovieron nuevas radicaciones de

plantaciones con esta especie. En la década del 90, se llevaron a cabo importantes inversiones frutícolas, hoy en plena producción.

La producción de madera se mantiene en San Carlos pero no con la fortaleza de años anteriores. El distrito de Pareditas es el principal productor de orégano del país. En el Valle de la Carrera (Tupungato) se ubica la principal zona productora de papa de Mendoza; en el mismo espacio se produce cebada para cervecería en seco.

En la actualidad, un tercio del área implantada se dedica viñedos, la mayor parte de variedades finas, se destacan las variedades Chardonnay, Merlot, Malbec, entre otras; este rubro productivo es el responsable de la expansión del Valle hacia el pedemonte. Otro tercio son frutales: durazneros y ciruelos de variedades para consumo en fresco o industria, perales, manzanos y nogales. Un 24% son huertas dedicadas a producción de papa, ajos, zapallo y tomate. Un 10% son forestaciones de álamo y el resto corresponde a forrajeras de corte o pastoreo, oleaginosas para semilla y plantas aromáticas (Pizzolato, 2012).

El distrito de Vista Flores, significativo para el área de estudio, es el segundo de importancia en el departamento de Tunuyán, después del distrito Ciudad, por la cantidad de habitantes.

En él predominan los cultivos permanentes (vid y frutales) y tiene importancia el área destinada a viveros de plantas frutales, porque demandan gran cantidad de mano de obra y además abastecen con sus productos a otras zonas frutícolas del país. La producción hortícola y forestal no es relevante.

“El contexto económico productivo sumado a la trayectoria del territorio, dan como resultado una población con grupos sociales diferenciados, producto de las relaciones sociales profundamente desiguales y la concentración económica que produce el modelo de desarrollo hegemónico. La mayoría de los habitantes son asalariados, tanto industriales como agrarios, pero también ocupan el espacio los dueños de algunas empresas tradicionales, empleados públicos y comerciantes, entre otros” (Pizzolato y Costella 2012).

5.3 Clima

Su clima es continental, mesotermal y árido, según la clasificación de Papadakis e índices de Knoche, De Martonne, Thornwaite y Blair. La temperatura media es próxima a los 15°C, con máxima y mínima absolutas de 38°C y -12°C, respectivamente. Las precipitaciones anuales suman 320 mm como promedio y se distribuyen presentando una mayor frecuencia, intensidad y cantidad en los meses de verano. La radiación solar es intensa y el porcentaje de nubosidad es bajo. Todo ello contribuye a que sus suelos sean

decréptos, deficitarios en materia orgánica y, consecuentemente, no estructurados en general (Martinis et al., 2002).

5.4 Geología

El Valle de Uco, desde el punto de vista geomorfológico, es considerado como una llanura o planicie agradacional pedemontana y forma parte de la Depresión de los Huarpes – Graben de Tunuyán, constituyendo un elemento negativo, deprimido y más o menos aplanado.

Representa una gran depresión que fuera rellenada continuamente con depósitos aluviales desde el Terciario al Cuaternario. Más precisamente es una de las unidades geomórficas de la Depresión de los Huarpes que, ubicada en su extremo norte, se conoce como "Bajada Joven al Graben de Tunuyán" (Martinis et al., 2002).

5.5 Características Hidrogeológicas

Desde el punto de vista hidrogeológico, la Cuenca Centro se define como aquella parte de la Depresión de los Huarpes ubicada en su extremo norte rellenada con sedimentos cuaternarios aluviales, que constituyen el medio físico que permite la conducción y acumulación del agua aportada por la infiltración de los arroyos y ríos ingresantes desde la cordillera. Es una cuenca intermontana alargada de norte a sur y con marcada pendiente hacia el noreste. El esquema hidrogeológico de la cuenca es sencillo, ya que la misma se adosa a la Cordillera Frontal mediante una bajada pedemontana que culmina en una escasamente desarrollada llanura aluvial.

El proceo de colmatación de la depresión, provocado por el depósito de los materiales acarreados por los ríos y arroyos, se produjo a través de una sedimentación selectiva, dejando los clastos más gruesos cerca de la cordillera y los más finos en la parte distal, al este-noreste. Esto, y la topografía general que indica un descenso desde el oeste al este y desde el sur al norte, determinan la presencia de una zona de recarga y otra de descarga de los acuíferos (Martinis et al., 2002).

5.6 Hidrología

Los ríos y arroyos de la zona, son producto del derretimiento de las nieves precipitadas en la alta montaña. Son 21 cursos de agua superficiales: los ríos Tunuyán y Las Tunas, y los arroyos Negro, Cuevas, Guevara, de las Casas, La Carrera, Olmos, Novillo Muerto, Villegas, **Grande**, Pircas, Santa Clara, Chupasangral, Cepillo, Cruz de Piedra, Cortaderas, Papagallos, El Manzano, del Rosario y Yaucha. Aportan sus aguas a la cuenca desde el oeste y sus regímenes son de tipo nival: caudales crecientes desde la primavera al verano y decrecientes hacia el invierno. Todos, excepto el río Tunuyán que tiene su origen en la

Cordillera Principal, tienen sus áreas de recolección o recepción de sus aguas (cuencas altas) en la Cordillera Frontal.

Concretamente el Arroyo Grande nace en la cuenca alta de la cordillera de Los Andes teniendo como límite el Cordón del Portillo, a partir de allí recorre un extenso trayecto confluendo diversos afluentes menores.

El río Tunuyán, cuyo módulo es de 28,5 m³/s, es el más caudaloso. El tramo del río Tunuyán cuyo cauce está trazado sobre la cuenca Centro, y cuyas aguas aportan a la misma, se denomina Tunuyán Superior, en contraste con otro tramo del río, conocido como Tunuyán Inferior, que se encuentra aguas abajo y que aporta en conjunto con el río Mendoza a la cuenca hidrogeológica Norte.

En el valle se encuentra el área de regadío del Tunuyán Superior, donde existen variados aprovechamientos (riego agrícola, industria, consumo poblacional), todos ellos sin derechos adquiridos a través de concesiones. Cabe aclarar que el río constituye prácticamente la única afluencia de la cuenca (no existiría flujo subterráneo saliente) y el total que conduce se dirige al dique embalse El Carrizal. A partir de éste, hacia el norte y este se desarrolla el sistema del río Tunuyán Inferior de la cuenca Norte.

Al Este de la cuenca, fuera de ella, originados por precipitaciones en las formaciones que limitan al este de la cuenca, existen varios arroyos secos (de cursos temporarios) que aportan esporádicamente sus crecidas, aunque su magnitud es despreciable en relación con los arroyos del oeste. Finalmente, completando la hidrografía del área, al este y surcando la cuenca en los sentidos oeste-este y norte-sur, partiendo desde la zona límite de acuífero libre y acuíferos confinados, se encuentra una serie de cursos de agua que se alimentan básicamente de los niveles freáticos. En algunos casos y periódicamente, reciben desagües de riego y de lluvia. A todos ellos se los considera egresos de la cuenca, ya que sus aguas vuelcan al cauce del río Tunuyán en su tramo terminal dentro del Valle de Uco, donde él también actúa como dren. Vía río Tunuyán salen de la cuenca, como producto de la colección de agua subterránea desde el nivel freático, unos 17 m³/s (Martinis et al., 2002).

5.7 Suelos

El suelo del Valle de Uco, se origina a partir del holoceno antiguo (cuaternario), sobre limos y arenas finas depositadas antes y después del primer y segundo estadio glacial. El valle descansa sobre una serie de conos de deyección tanto del río Tunuyán, como de los ríos y arroyos afluentes de él. Predominan principalmente los suelos del tipo entisoles, los cuales son de escaso desarrollo. (Figura 4).

Los suelos torripsamentos típicos se encuentran más hacia el oeste (Regairáz, 2000). Estos son suelos arenosos que en promedio alcanzan un metro de profundidad, de ambiente de dunas fijas o activas, con muy buen drenaje, y limitados por piedras en profundidad. Su uso corresponde en su gran mayoría a la producción de uvas finas para vinificación, también se encuentran plantaciones de frutales de carozo como cereza, nogal, almendros, entre otros (Cara, 2012).

Los suelos torrifluventes típicos generalmente se desarrollan sobre sedimentos recientes depositados por ríos (Regairáz, 2000). Estos son suelos minerales generalmente de climas áridos y régimen de humedad tórrico, sin horizontes bien definidos, de poca profundidad, limitada por pedregosidad y con un gran contenido de piedras en superficie. Poseen un buen drenaje, una pendiente promedio del 2% y en estos suelos es posible encontrar plantaciones de frutales de carozo y pepita, producción vitícola y chacras dedicadas a la horticultura, en todos los casos bajo riego (Cara, 2012).

En la parte Norte de la cuenca, en el valle de Las Carreras (Noroeste de Tupungato) también se encuentran suelos del orden Molisol, correspondientes a Haplustoles énticos, los cuales poseen un alto contenido de materia orgánica, de 1,5 m de profundidad aproximadamente con algo de piedras (Cara, 2012).

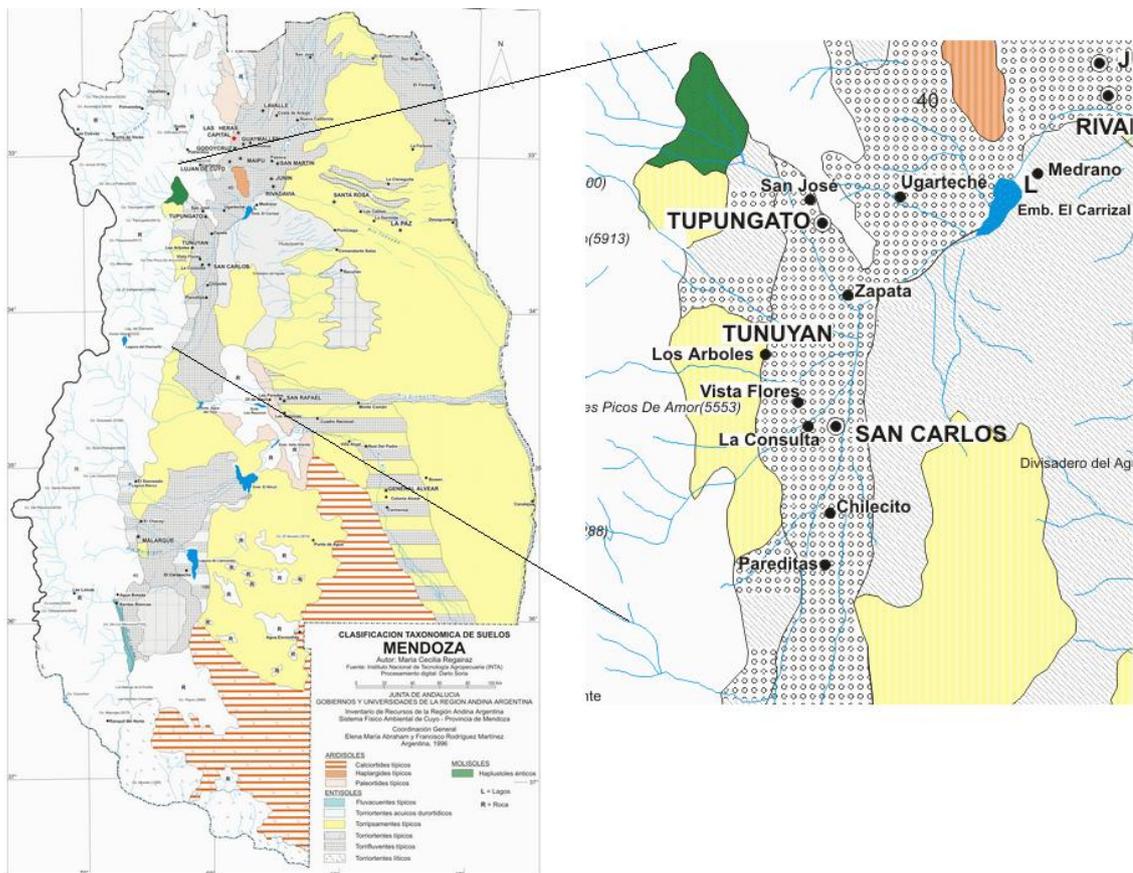


Fig. 4: Suelos de la región del Valle de Uco (Regairáz, 2000)

5.8 Flora y Vegetación

La vegetación es característica de zonas áridas, aunque con mayor cantidad y diversidad de especies en la parte más baja de la cuenca y en Tupungato como consecuencia de la abundante agua que aflora a través de vertientes (Martinis et al., 2002).

En el sector de la depresión de los Huarpes, se desarrolla la formación de jarilla, estepa arbustiva en la que predomina *Larrea divaricata*, y *cunneifolia* (jarilla), *Prosopis flexuosa* (Algarrobo dulce) en forma arbustiva, y *Gochnatía glutinosa* (jarillilla), la cual aparece en zonas por encima de los 800 m.s.n.m., estos jarillales se extienden desde los 1.300 a 1.400 m.s.n.m., siendo sustituidos a mayores alturas por comunidades montañosas. En el piedemonte, se desarrolla un denso jarillal, al cual se han incorporado *Motea aphilla* (ala de loro), *Gochnatía glutinosa* (jarillilla), etc., y el extracto herbáceo está representado por *Acantholippia seriphoides* (tomillo) y *Echinocactus catamarcencis* (quisco). Debido a que estos jarillales son muy pastoreados por las cabras, el suelo removido y endurecido es ocupado por *Lycium tenuispinosum* (piquillín de víbora) y *Opuntia aoracantha* (quisco), finalmente, en zonas de rellenos aluviales, se destaca la comunidad compuesta por *Larrea cuneifolia* (jarilla), *Bulnesia retama* (retamo) y *Geoffrea decorticans* (chañar). Las gramíneas son escasas y sólo aparecen en formas aisladas de los géneros *Bouteloua* y *Tridens*, el pastizal presente en la cordillera y en el piedemonte es representado por comunidades del género estepa, con una cobertura entre los 20 y 23 % de unos 20 a 40 cm. de altura, entre los 1.900 y 2.500 m.s.n.m. (Cara, 2012). La fisonomía general del valle se completa con amplias áreas cultivadas que transformaron partes del mismo en uno de los oasis más importantes de Mendoza (Martinis et al., 2002).

5.9 Fauna

En este medio, la fauna está conformada por zorro culpeo, pericotes, zorros, gato montés, chinchilla de montaña y pumas que se encuentran en franca extinción. El guanaco y el cóndor son más representativos de la alta montaña.

Las aves como perdiz de la sierra, pato de la sierra, halcón, palomita de la sierra, tero, picaflor cordillerano, piuquenes y otras varias especies de patos, son las especies más comunes. También están las aves de rapiña como el jote, gavilán y halconcito gris. No son extrañas la polla de agua, paloma turca, gallineta tórtola y loro barraquero, búhos, pititorras, etc. Los mamíferos son numerosos, ratón del palo, comadrejas, pichi llorón, pichi ciego, peludo. Entre los roedores se encuentran conejos del cerco y cuis. Se conocen tres especies de tunduques, además algunos ofidios de los cuales podemos destacar la víbora falsa coral, de la cruz y la yarará ñata; dentro de los invertebrados son comunes la chinche de agua, el cangrejo de río, escorpiones, arañas pollitos, también hay mariposas, tábanos y mosquitos (Cara, 2012).

6. Materiales y Métodos

Con el fin de evaluar la capacidad funcional de ecosistemas y la provisión relativa de servicios ecosistémicos de la cuenca del Arroyo Grande, se adaptó y aplicó la metodología propuesta por el protocolo ECOSER (Latterra et al., 2011), llevando a cabo los pasos que se detallan a continuación

6.1 Evaluación de la distribución espacial de tipos de ecosistemas dominantes y de variables biofísicas

Se reunieron los siguientes datos de la zona de estudio:

- i. Textura de suelos: de perfiles distribuidos dentro y fuera de la cuenca.
- ii. Coberturas del terreno:
 - Cualitativas: urbanizado, cultivado (discriminado por tipo de cultivo), abandonado, vegetación nativa.
 - Cuantitativas: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Imagen LANDSAT del 27/02/11
- iii. Modelo digital de elevaciones: obtenido de <http://earthexplorer.usgs.gov/>, con una resolución espacial de 30 m.

A partir de esos datos, y mediante el sistema de información geográfica QGIS 2.6.1 Brighton (www.qgis.org) se analizó la información biofísica necesaria para definir los dos tipos de ecosistemas dominantes (TED).

Se aplicó una clasificación supervisada de la capa de NDVI, con el método de máxima verosimilitud, para diferenciar cada TED.

6.2 Estimación de índices de Funciones Ecosistémicas

Se desarrollaron cuatro FE, basadas en el protocolo ECOSER con algunas modificaciones en los datos y formas de obtener los mismos para lograr una adaptación al área de estudio.

El procedimiento de estimación se expone a continuación.

6.2.1 Almacenamiento de carbono en biomasa

Para estimar el almacenamiento de carbono en biomasa (carbono arbóreo, arbustivo y herbáceo) se asignó un factor por defecto a cada uso/cobertura de contenido de carbono en biomasa.

El mapa de cobertura se generó a partir del NDVI al que se le aplicó reclasificación para los valores por defecto de cada uso de contenido de carbono.

Se seleccionó el valor 0,3 como límite de NDVI que mejor definía las coberturas “Agroecosistema” y “Monte Nativo”, para hacer la reclasificación de los valores de almacenamiento de carbono, debido a que fue el valor que mejor discriminó la clasificación de cobertura.

El límite se definió luego de establecer distintos valores umbrales y aplicarles análisis de correlación lineal entre la capa raster de cobertura y la capa reclasificada con cada valor límite. El coeficiente de correlación fue de 0,86.

Los factores de almacenamiento (Tabla N°1) se extrajeron de bibliografía. En el caso de la cobertura “Agroecosistema” se tomó de datos globales, propuestos por el protocolo ECOSER. En el caso de “Monte Nativo”, se aplicó el valor 3,8 t C ha⁻¹ (Zivkovic *et al.*, 2013).

Tabla N°1. Factores de almacenamiento de C en biomasa según cobertura

TED	Factor de almacenamiento de C en biomasa (t C ha ⁻¹)
Agroecosistema	5,67
Monte Nativo (Bosque natural)	3,8

6.2.2 Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo

Para estimar la función ecosistémica de almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS) se empleó la metodología propuesta por el IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, 2006) (Ecuación 1):

$$COS_i = COS_{Ref} \times F_{lu} \times F_{mg} \times F_a \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde COS_i es la cantidad de COS (t ha⁻¹) estimado en el pixel i , COS_{ref} es el contenido de COS (t ha⁻¹) bajo la condición de referencia (vegetación nativa sin disturbar), F_{lu} es el

factor de cambio relacionado al tipo de cobertura/uso del suelo, F_{mg} es el factor de cambio relacionado a las diferentes prácticas de labores y F_a es el factor de cambio que representa los distintos niveles de aporte de carbono al suelo.

Para obtener el valor de COS_{Ref} , se partió de muestras de suelo, a las cuales se les aplico el análisis de % MO oxidable con el Método Walkley-Black (1934). A los perfiles que contenían más de una capa con presencia de MO se obtuvo el valor promedio ponderado. Posteriormente se generó una capa vectorial de puntos en la que se indicaron las coordenadas del punto, su valor de materia orgánica del suelo (MOS) y el carbono orgánico del suelo (COS), este último se obtuvo al aplicar la formula $C=\%MO*0,58$.

Debido a que el dato original de COS era $gramos_{CO}\%gramos_{suelo}$ se le asignó a una masa de suelo igual al volumen del mismo por su densidad aparente. El volumen es igual al tamaño del pixel ($50m*50m=2500 m^2$) por la profundidad (establecida en 10 cm.) es igual a $250 m^3/pixel$. La densidad aparente (DAp) se estimó a partir de la ecuación 2 (Saxton et al (1986)).

$$R^2=0,95.$$

$$DAp \left(\frac{Ton}{m^3} \right) = 0,021 \times arcilla(g\%g) + 1,7432 \quad (Ec. 2)$$

Con el dato de densidad aparente se generó un mapa de densidad que se multiplicó por el volumen de suelo de cada pixel y se obtuvo la masa de suelo de cada pixel, lo que se multiplicó por el COS y se obtuvo el COS_{Ref} en t de CO/pixel.

Por otro lado se generó un mapa de cobertura, utilizando como base el NDVI, al que se le realizó una clasificación supervisada de las coberturas/ usos con el método de máxima verosimilitud, clasificando las coberturas en los TED "Agroecosistema" y "Monte Nativo" (Tabla N°2).

Tabla N°2. Media y desviación estándar para los valores de NDVI según TED

TED	NDVI media	NDVI desviación estándar
Agroecosistema	0.521	0.113
Monte nativo	0.072	0.062

A cada cobertura de la clasificación de la cuenca, se le asignaron los siguientes factores de cambio correspondiente a la Ecuación 1 (F_{lu} , F_{mg} y F_a) (Tabla N°3), a través de una reclasificación. Los mismos, fueron extraídos de bases bibliográficos del IPCC (2006).

Tabla N°3. Factores relativos de cambio de existencias de carbono

TED	F_{lu}	F_{mg}	F_a
Agroecosistema	0,8	1,01	1,04
Monte Nativo	1	1,10	1

Por último se multiplicó el mapa de COS_{ref} y el de cobertura reclasificada según los factores, para dar como resultado el mapa que representa la cantidad de carbono orgánica del suelo COS_i (t/píxel).

6.2.3 Control de erosión por cobertura vegetal.

Para estimar el control de la erosión se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) (Renard et al., 1997). Esta ecuación predice pérdidas de sedimentos medias anuales de acuerdo a factores climáticos, topográficos, edáficos y de uso y cobertura del suelo según la siguiente ecuación:

$$A_j = R \times K \times LS \times C \times P \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde A es la pérdida media anual de sedimentos por erosión hídrica (Ton/ha), R es el factor erosivo de las lluvias o índice de erosividad, el factor K es la susceptibilidad del suelo a la erosión, LS es un factor que combina la longitud del flujo y el grado de la pendiente, los factores C de cobertura y P de prácticas de conservación representan una reducción de las pérdidas de sedimentos por protección de cobertura vegetal y buenas prácticas de manejo respectivamente.

Empleando esta ecuación, el modelo estima la capacidad de la vegetación de un determinado píxel para mantener el suelo en su lugar (control de la erosión), mediante la comparación de las tasas de erosión en ese píxel versus las tasas de erosión que tendría ese píxel sin vegetación presente (suelo desnudo). La estimación RUSLE para suelo desnudo se calculó como:

$$A_{m\acute{a}x} = R \times K \times LS \quad (\text{Ec. 4})$$

Por lo tanto, el control de la erosión de un píxel j es igual a la diferencia entre

$$A_{m\acute{a}x} - A_j \quad (\text{Ec. 5})$$

A continuación se explican los procedimientos y fuentes de información empleados para el cálculo de cada factor en el área de estudio:

6.2.3.1 Índice de erosividad de precipitaciones (*R*)

El factor *R* se define como el producto acumulado para un periodo de interés con cierta probabilidad de ocurrencia (50%) de la energía cinética de una precipitación por su máxima intensidad en 30 minutos. Este factor está determinado por la cantidad total de precipitación anual y por la forma en que éstas se producen, siendo más erosivas cuanta mayor cantidad de agua cae en un menor espacio de tiempo.

En este estudio para definirlo, se aplicó la ecuación de estimación del factor *R* anual (Ecuación 6) encontradas para la región pedemontana del Gran Mendoza (Vich et al., 2010) a fin de simplificar el procedimiento original, debido a que no se dispone de información tan específica como la requerida.

$$R = 0.0672 \times IND^{1.4578} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde: *IND* es el cociente entre la precipitación mensual del mes más lluvioso elevado al cuadrado y la precipitación anual.

Los datos estadísticos de precipitación mensual se extrajeron de la Dirección de Agricultura y Contingencia Climática (p.e <http://www.contingencias.mendoza.gov.ar/>), de la estación meteorológica Tunuyán, del período 1997 - 2011.

Con ellos se calculó la precipitación promedio del periodo en cuestión para cada mes y luego el promedio anual para el mismo periodo de años. Finalmente con el dato de precipitación promedio del mes más lluvioso y el promedio anual se obtuvo un único valor del factor *R* de 1,20 J/píxel para toda el área de estudio, el cual se utilizó directamente como el término *R* de la ecuación 4). El valor de esta variable se expresa en unidades de energía por unidad de superficie, en este caso J/ha.

6.2.3.2 Factor de erodabilidad de suelos (*K*)

El factor *K* es una medida de la susceptibilidad de las partículas del suelo para separarse y ser transportadas por la lluvia y escorrentía. Se obtuvo aplicando la ecuación propuesta por Wischmeier y Smith (1978).

$$K = \frac{[1.292 \times (2.1 \times M \cdot 1.14 \times 10^{-4} \times (12 - MO) + 3.25 \times (E - 2) + 2.5 \times (P - 3)]}{100}$$

(Ec. 7)

Donde:

$M = (100 - \% \text{ arcilla}) * (\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina})$

$MO = \% \text{ materia orgánica}$

$E = \text{código (curva) de estructura}$

$P = \text{código (curva) de permeabilidad}$

Los datos empleados para el cálculo del término M de la ecuación fueron obtenidos a partir de análisis de laboratorio de 23 muestras de suelo del área de estudio (Mastrantonio et al. 2012), con los que se construyó una capa vectorial de puntos. Particularmente el porcentaje de arena muy fina, se obtuvo de la siguiente ecuación de regresión:

$$Y = -0.402 * X + 48.928 \quad R^2=0,39 \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde Y es porcentaje de arena muy fina (50-100 micrometros) y X es el valor de arena total (50-2000 micrometros). Finalmente por interpolación se creó el mapa raster de porcentaje de arena muy fina.

El porcentaje de materia orgánica (MO) que se utilizó fue el mapa raster generado para la función de “*almacenamiento de carbono orgánico en el suelo*”, a partir de muestras de suelo, a las cuales se les aplicó el análisis de % MO oxidable con el Método Walkley-Black (1934).

El código de estructura (E), se estableció en 4 (cuatro) (Wischmeier y Smith, 1978) considerando que los suelos de la zona son en bloques o inestructurado.

El código de permeabilidad (P) se estableció por la clase de conductividad hidráulica saturada a partir de los datos de contenido de arcilla y arena (USDA, 1993).

Una vez recabados los datos, con calculadora raster se generó un mapa del factor K , expresado en MJ/ha.

6.2.3.3 Factor LS

LS indica el producto de los sub-factores longitud (L) y pendiente (S) del terreno y representa el efecto de la topografía sobre la pérdida de sedimentos por erosión. El método aplicado coincide con el expuesto en el protocolo ECOSER (Wischmeier and Smith, 1978).

El factor L se calculó con la expresión:

$$L = \left(\frac{X}{22.13} \right)^m \quad (\text{Ec 9})$$

Donde X representa la longitud de la pendiente, que es la distancia horizontal, pendiente abajo, desde el punto donde se genera el escurrimiento hasta el punto donde la pendiente decrece de forma que comienza la deposición de sedimentos.

La pendiente, en %, se obtuvo a través de la herramienta cálculo de slope leight de los algoritmos de SAGA, del programa Qgis. El exponente m , se obtuvo por reclasificación de la pendiente, según los siguientes valores:

- $m = 0,5$ si la pendiente es mayor a 5%
- $m = 0,4$ para pendientes entre 3% y 4%
- $m = 0,3$ para pendientes entre 1% y 3%
- $m = 0,2$ para pendientes menores a 1%.

Para el cálculo del factor S , se empleó la siguiente ecuación, donde s es la pendiente en porcentaje.

$$S = (0.065 + 0.045 * s + 0.0065 * s^2) \quad (\text{Ec } 10)$$

En consecuencia, el factor topográfico LS se calculó a partir de:

$$LS = \left(\frac{X}{22.13} \right)^m \times (0.065 + 0.045 * s + 0.0065 * s^2) \quad (\text{Ec } 11)$$

Donde LS representa la proporción de pérdida de suelo en comparación con un sitio de referencia "estándar" con 9% de pendiente y 22,13 metros de longitud de la pendiente.

6.2.3.4 Factor de cobertura (C) y de prácticas de conservación (P)

Estos factores representan la reducción de las pérdidas de sedimentos por protección de cobertura vegetal y buenas prácticas de manejo. Para la zona bajo estudio P es igual a la unidad, ya que en el Monte Nativo no existe ninguna labor cultural que pueda atenuar la erosión y el Agroecosistema por el tipo de cultivo (vid, frutales, etc.) las labores son mínimas. Para el valor C se generó un mapa raster empleando la herramienta *Factor C de Qgis*, basado en el NDVI.

6.2.4 Protección de acuíferos por cobertura vegetal

El agua subterránea en el Valle de Uco es la fuente de agua más importante y, en muchos casos, la única fuente usada para consumo humano, producción agrícola e industrial, por lo tanto debe ser protegida de cualquier contaminación. El análisis de vulnerabilidad del agua subterránea pone en relieve las áreas en las que se puede producir contaminación. La vulnerabilidad de los acuíferos frente a la contaminación es una propiedad intrínseca del medio. Existen dos tipos de vulnerabilidad, aquella llevada a cabo

por un determinado contaminante, que se define como "vulnerabilidad específica" o aquella en general, para cualquier tipo de contaminación que se define como "Vulnerabilidad intrínseca (Focazio et al., 2002 en M. Saatsaz et al., 2011).

Aquellas zonas donde el acuífero es muy vulnerable a la contaminación determinados tipos de cobertura vegetal (ej. bosques o pastizales) pueden ejercer un rol importante de protección. Si bien no existen estudios locales sobre la dependencia de la calidad de agua sobre la cobertura vegetal, (excepto para algunos nutrientes Costa et al., 2002), puede asumirse que la relevancia de los ecosistemas en la protección de la calidad del agua subterránea en un pixel depende del riesgo intrínseco del acuífero a ser contaminado (Lattera et al., 2012).

El sector rural se encuentra en su mayor parte bajo algún uso productivo (agrícola, ganadero o forestal). Para estimar la función ecosistémica de protección de acuíferos se asume que cada cobertura vegetal presenta una determinada capacidad de protección (en función del nivel de agroquímicos que requiera para el desarrollo de la actividad productiva) y que dicha protección cobra mayor relevancia en los pixeles más vulnerables.

$$PAC_i = 1 - (ID_{rel_i} \times P_i) \quad (\text{Ec } 12)$$

Donde PAC_i es la protección de acuíferos por cobertura en el pixel i , P_i es un factor que refleja el rol de protección de la cobertura vegetal en el pixel i en función del nivel de insumos necesarios para el desarrollo de la actividad productiva. Se asume que un ecosistema más complejo (en términos de su funcionamiento y estructura) requiere menos insumos para llevar a cabo una actividad productiva (toma valores de 0-1). ID_{rel_i} es el índice DRASTIC relativizado empleado como medida de la vulnerabilidad del acuífero en el pixel i . El DRASTIC toma valores de 23-226 que luego deben relativizarse en una escala de 0-1.

El método DRASTIC (Aller et al., 1987) clasifica y pondera parámetros intrínsecos, reflejo de las condiciones naturales del medio como: D (profundidad del nivel piezométrico), R (recarga), A (litología del acuífero), S (naturaleza del suelo), T (pendiente del terreno), I (naturaleza de la zona no saturada) y C (conductividad hidráulica del acuífero - permeabilidad). A cada uno de los siete parámetros se les asigna un valor en función de los diferentes tipos y rangos definidos (ver Tabla N°4). Además, al valor de cada variable se aplica un índice de ponderación entre 1-5 que cuantifica la importancia relativa entre ellos y puede modificarse en función del contaminante.

$$ID = Di * Dw + Ri * Rw + Ai * Aw + Si * Sw + Ti * Tw + Ii * Iw + Ci * Cw$$

$$(\text{Ec } 13)$$

Siendo i el pixel evaluado y w el índice de ponderación de cada parámetro (Tabla N°5). La profundidad del acuífero (D_i) representa el espesor de suelo que debe atravesar el contaminante antes de alcanzar al agua subterránea. Se le asigna un valor según la Tabla N°4 a cada rango de profundidad. La máxima puntuación (10) se asigna cuando el acuífero se encuentra a muy poca profundidad (Ej. entre 0 – 1,5 m). La recarga neta (R_i) indica la tasa de infiltración por unidad de superficie. Para valores superiores a 250 mm de infiltración se asigna el valor máximo de puntuación. El tipo de acuífero (A_i) representa la capacidad del medio poroso y/o fracturado para transmitir los contaminantes. Los valores son asignados de acuerdo a la litología de la zona. El parámetro naturaleza del suelo (S_i) se refiere a la zona no saturada y representa la capacidad del suelo en frenar el movimiento de los contaminantes. El valor se asigna de acuerdo a la textura del suelo, las texturas gruesas como arenas y gravas obtienen la máxima puntuación. La topografía representa la pendiente de la superficie según la cual se incrementa o disminuye el escurrimiento superficial. Si las pendientes (T_i) son bajas, mayor es la probabilidad de infiltración de contaminantes por lo tanto se asigna mayor puntuación. El impacto de la zona no saturada (I_i) representa la textura del suelo de la zona no saturada y por último la conductividad hidráulica del acuífero (C_i) representa la capacidad del acuífero en transmitir horizontalmente los contaminantes, a mayor conductividad mayor puntuación.

La determinación de los siete parámetros para la zona bajo estudio quedó definida como:

- D : se utilizó un mapa de curvas de igual profundidad del agua subterránea. (Martinis et al.2002), Para el sector correspondiente a la cuenca la profundidad toma valores de -70 a 10 metros, con los cuales se trazaron 5 polígonos que fueron clasificados de acuerdo a la Tabla N°4 y luego rasterizados.
- R : se utilizaron datos de niveles estáticos de los pozos de monitoreo del Instituto Nacional del Agua (Martinis et al.2002) para el cálculo de recarga. La misma se obtuvo en función de la variación de altura de la cota de agua en años consecutivos del período de 1972-2011 por el coeficiente de almacenamiento para acuífero libre 0,098 y para acuífero confinado 0,001 (Torres E. y Zambrano J. 2000), discriminando los pozos presentes en cada tipo de acuífero. Se calculó el dato de recarga anual promedio para cada pozo, teniendo en cuenta los años con datos consecutivos. Finalmente se rasterizó el mapa vectorial de puntos que contenían el valor de recarga anual promedio de cada pozo y se reclasificó de acuerdo a la Tabla N°4.
- A : se asignó un valor de 8 de la Tabla N°4, correspondiente a arena y grava, a toda la cuenca en base a la caracterización de Torres y Zambrano (2000).

- S: se asignaron los valores de la Tabla N°4 al mapa de suelos generado a partir de las texturas de los análisis de suelo.
- T: los valores fueron extraídos del mapa de pendientes en % de la cuenca (mapa generado con el modelo digital de elevaciones) y reclasificados de acuerdo a la Tabla N°4.
- I: se utilizó el mapa de Unidades Hidrogeológicas del Valle de Uco (Martinis et al.2002). Se asignó un valor de 6 de la Tabla N°4 para la unidad caracterizada como El Zampal y un valor de 8 para la unidad identificada como Bajada Pedemontana, basados en las características del suelo especificadas por las unidades hidrogeológicas B y QS (Torres y Zambrano, 2000).
- C: se seleccionó el rango de 41-82 (valor 8) para el acuífero confinado y el rango >82 (valor 10) para el acuífero libre de acuerdo a los valores reportados por Martinis et al. (2002).

Tabla N°4: Rango de valores de los parámetros empleados en el Índice DRASTIC

D		R		A		S		T		I		C	
Profundidad del Nivel Freático(mm)		Recarga(mm)		Material del acuífero		Suelo		Topografía (%)		Impacto en la zona no saturada		Conductividad Hidráulica(m/día)	
<1,5-10	8.5	0 - 50,8	1	arena y grava	8	Arenoso	9	0-2	10	Arena, grava y limo	6	acuifero confinado 42-82	8
10-20	5	50,8 - 101,6	3			Franco-aren	6	2-6	9				
20-30	2	101,6 -117,8	6			Franco	5	6-12	5	arena y grava	8		
>30	1					Franco-lim	4	12-18	3				
								>18	1	basalto	9	acuifero libre>82	10

Tabla N°5: Índices de ponderación empleados en el Índice DRASTIC (Aller et al., 1987)

Parámetro	Índice de ponderación (w)
D – Profundidad del acuífero	5
R – Recarga	4
A- Naturaleza del acuífero	3
S - Naturaleza del suelo	2
T – Pendiente del terreno	1
I – Impacto de la zona no saturada	5
C – Conductividad hidráulica	3

Para asignar el factor P_i se consideró usar una modificación de los valores que se encuentran en el protocolo ECOSER (Tabla N°6). Los cultivos en el protocolo poseen un valor de $P_i=95\%$ y suponiendo que el uso de agroquímicos es menor por los tipos de cultivos presentes en la zona de estudio, se eligió un valor de P_i de 70% y el valor del Monte Nativo $P_i=5\%$ se debe a la presencia de escasa ganadería extensiva.

Tabla N°6: Factor P asignado a cada cobertura

Cobertura	Factor P_i
Agroecosistema	70
Monte Natural	5

6.3 Evaluación espacial de la provisión relativa de cada tipo de SE

En función de lo establecido por el protocolo se estudió la provisión de los siguientes servicios ecosistémicos:

Servicios de Soporte

- Producción potencial de cultivos: como su nombre lo indica es la producción potencial de los cultivos más comunes en la región.
- Producción Ganadera: Producción de especies ganaderas comunes en la región.
- Producción Forestal: Producción agrícola de especies forestales comunes en la región.
- Recarga de lagos y embalses: hace referencia a la cantidad de agua que alcanza las reservas de agua superficial.
- Recarga de acuíferos: Cantidad de agua que alcanza las reservas subterráneas.

Servicios de Aprovechamiento

- Calidad de acuíferos: es la disponibilidad de agua subterránea apta para riego o consumo animal o humano.
- Disponibilidad de Agua Superficial Limpia: Disponibilidad de agua apta para riego o consumo animal o humano por cuerpos de agua superficiales.
- Calidad del Aire: presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad y la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.

Servicios de Regulación

- Regulación climática: hace referencia a la mitigación del aumento global de la temperatura, de eventos climáticos extremos y del cambio en los regímenes de precipitaciones.

- Amortiguación de Inundaciones: es la reducción de la extensión, duración y frecuencia de las inundaciones producidas por excesos de precipitación y/o desborde de cuerpos de agua. Se reducen o evitan las inundaciones aguas abajo como resultado de la regulación de los caudales de los ríos y la desaceleración de los flujos y el almacenamiento del agua

Servicios Culturales

- Potencial de Recreación: Áreas con potencial para generar sitios con importancia para las actividades recreativas, educativas o con valores para las comunidades locales, como el estético, el religioso, el histórico o el arqueológico.

La provisión relativa de cada servicio ecosistémico se obtuvo a partir de la integración de los mapas de FE generados con los indicadores/modelos explicados anteriormente.

Como los mapas de funciones tienen unidades diferentes (p.ej. TonC, kg de N, etc.) se llevaron a una escala relativa (0-1) para su integración. Para la relativización de cada FE se consideró el valor máximo potencial del área de estudio.

Luego, utilizando una matriz de integración (Tabla N°7) se consignó el aporte relativo de cada FE (columnas) a cada SE (filas) donde 0: la FE_j tiene un aporte bajo o despreciable al SE_i , y, 1: para los SE donde esa función ejerce su máxima contribución.

Para completar la matriz se llevó a cabo una consulta a seis (6) expertos (INTA, UNCuyo, INA, DGI) que trabajan en la temática y/o en el área de estudio.

Tabla N°7. Ejemplo de Matriz de integración. Valoración del aporte relativo de cada función (columnas) a cada servicio (filas). 0: aporte bajo o despreciable, y 1: para la/s función/es que ejerce/n la máxima contribución dentro de cada servicio.

		FUNCIONES AMBIENTALES			
		Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo	Almacenamiento de carbono en la biomasa	Control de erosión	Protección de acuíferos por cobertura vegetal
SERVICIOS AMBIENTALES	Regulación climática				
	Amortiguación de inundaciones				
	Recarga de lagos y embalses				
	Disponibilidad de aguas subterránea limpia/calidad de acuífero				
	Producción potencial de cultivos				
	Disponibilidad de agua superficial limpia				
	Recarga de acuíferos				
	Calidad del aire				
	Producción ganadera				
	Producción forestal				
	Potencial de recreación				

Luego se integraron los mapas para obtener el flujo relativo de cada tipo de SE (FSE_i) en el área de estudio, donde cada elemento de la matriz se calculó como la combinación lineal del flujo de cada función ecosistémica (FE_j) ponderado por su aporte medio relativo (b_j) al correspondiente SE, según:

$$FSE_i = \sum b_j * FE_j \quad (Ec\ 14)$$

Por último, se evaluó espacialmente la provisión de SE, identificando zonas de generación, propagación y captura, y su direccionalidad (*in situ*, direccional u omnidireccional).

6.4 Validación del protocolo ECOSER e identificación sus limitaciones y virtudes

Una vez concluido el mapeo y análisis, se discutieron las limitaciones y virtudes encontradas al aplicar el protocolo, con el fin de contribuir a la construcción del sistema de valoración de SE y proveer de autocrítica al trabajo realizado.

7. Resultados y Discusión

7.1 Evaluación de la distribución espacial de tipos de ecosistemas dominantes y de variables biofísicas

Con las variables biofísicas textura del suelo, altura y especialmente los tipos de coberturas, se identificaron dos ecosistemas dominantes. Uno de ellos corresponde a lo que denominamos como “Monte Nativo” caracterizado por un suelo de textura arenosa y franco-arenosa con menos de 1% de materia orgánica y sin agregado de la misma por trabajos culturales. El tipo de vegetación presente corresponde a la provincia fitogeográfica del Monte, con especies predominantes como *Larrea divaricata*, y *Larrea cunneifolia* (jarilla), *Prosopis flexuosa* (Algarrobo dulce) en forma arbustiva, y el estrato herbáceo por *Acantholippia seriphoides* (tomillo) y *Echinocactus catamarcensis* (quisco).

El otro TED reconocido lo nombramos “Agroecosistema”, caracterizado por un suelo de textura franco-limosa. Con más del 1% de materia orgánica debido al agregado por labores culturales y requerimiento de los cultivos. Justamente su cobertura de especies de cultivo comerciales, como vid principalmente, frutales y hortalizas es lo que lo diferencia del ecosistema Monte Nativo.

En la siguiente imagen se pueden diferenciar los TED por su color, amarillo al “Monte Nativo” y verde al “Agroecosistema”

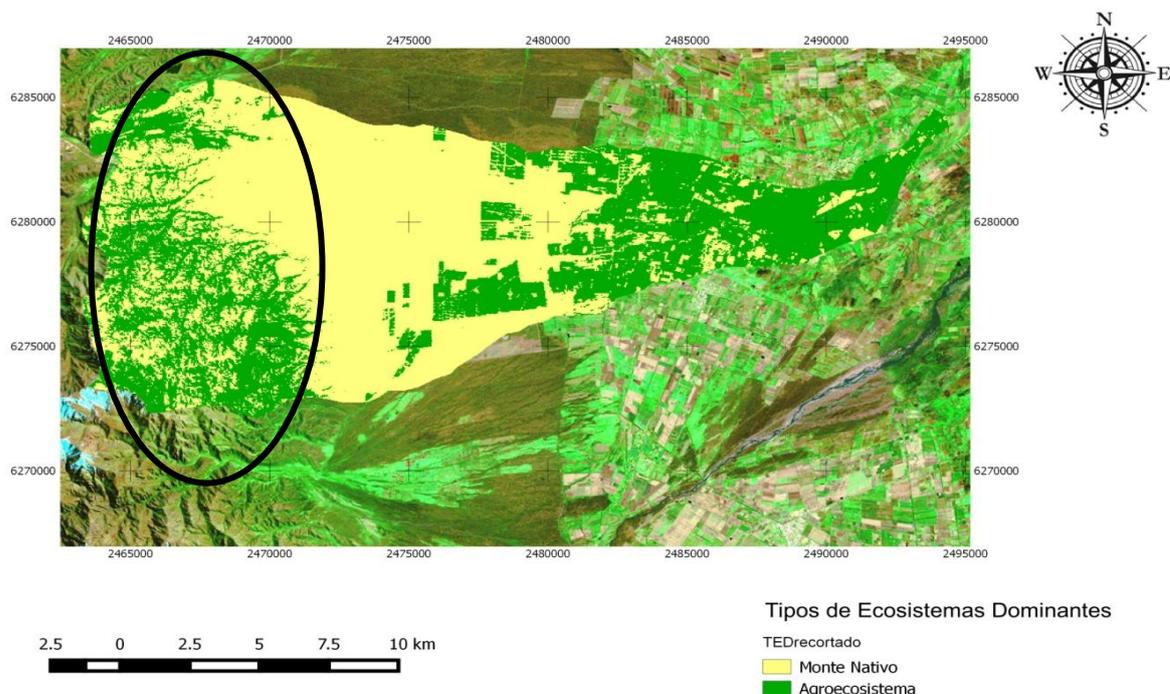


Figura 5: Tipos de Ecosistemas Dominantes

Al analizar los mapas de la totalidad de los SE estudiados, se han identificado tres zonas, dos que se corresponden con los TED objeto de estudio del presente trabajo, y una tercera ubicada al oeste, en la zona alta de la cuenca, sobre lo que es la Cordillera Frontal de Los Andes (demarcada con un círculo negro). En esta última zona, en términos generales se puede afirmar que el clima es húmedo y predomina la región de Estepa Altoandina según la regionalización esbozada por Daniele y Natenzon (1994), con acumulación de detritos rocosos formando suelos pedregosos sueltos e inmaduros, de una altitud de alrededor de 2800 a 4100 msnm y con valores relativamente altos de NDVI. Todo lo antes expuesto evidencia un área con características particulares que merece ser abordado con mayor detalle en otros estudios y escapa al objetivo propuesto en el presente trabajo

7.2 Estimación de índices de Funciones Ecosistémicas

Como resultado de la aplicación de los índices de funciones ecosistémicas del Protocolo ECOSER se generaron los siguientes mapas:

7.2.1 Almacenamiento de carbono en biomasa

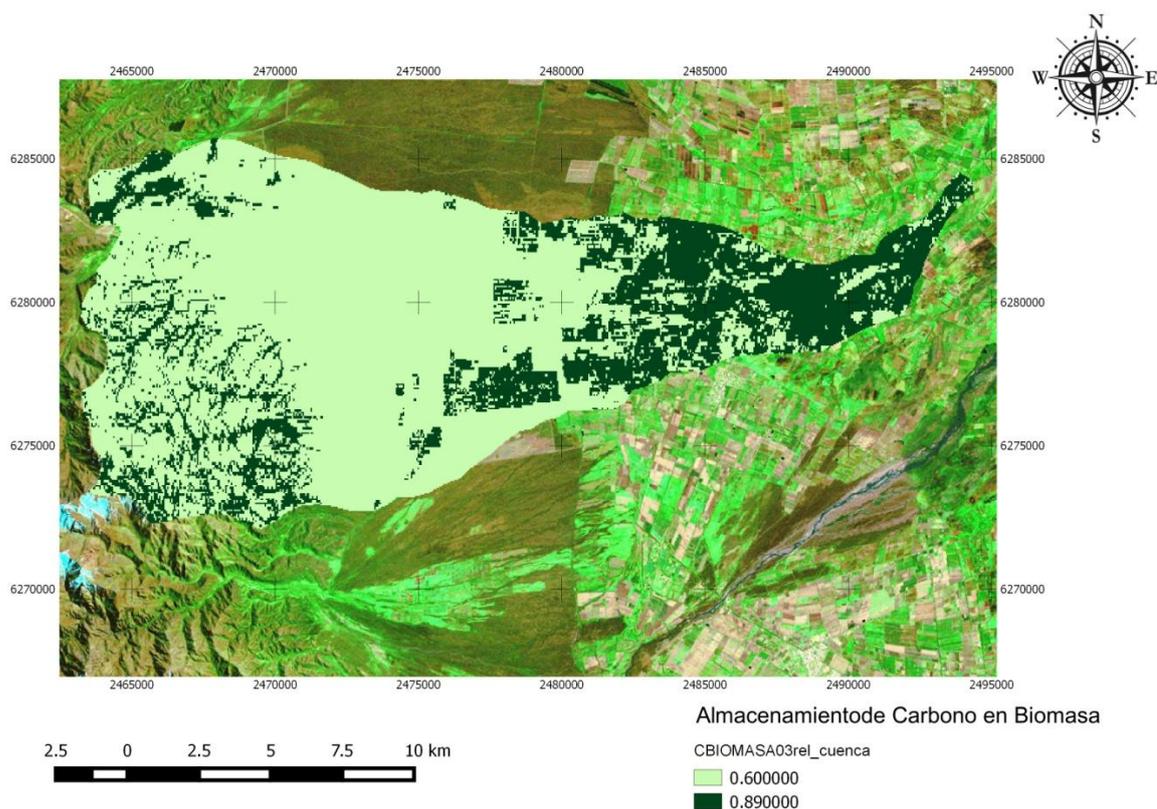


Figura 6: Almacenamiento de Carbono en Biomasa

Para almacenamiento de carbono en biomasa, podemos observar una marcada diferencia entre el agroecosistema (color verde oscuro) y la zona de monte nativo, que

muestra cómo las especies del área cultivada almacenan mayor cantidad de C que las especies perteneciente al monte. Esto se produce debido a que experimentan mayor crecimiento, poseen más volumen y superficie de dosel, y sufren menor déficit hídrico al encontrarse bajo riego. Es importante tener en cuenta la estacionalidad de esta función, ya que la imagen satelital utilizada para su cálculo corresponde a la época estival, cuando existe un desarrollo del follaje. Las especies cultivadas en el agroecosistema son de hoja caduca perenes, lo que significa que en la época de otoño - invierno no cuentan con follaje como el que se está considerando para medir la FE.

En la zona de cordillera la presencia de vegas denota una vegetación similar en valores de NDVI al cultivo, por lo que el programa y las herramientas utilizadas le confieren valores de almacenamiento de carbono iguales, pero la realidad manifiesta que al no ser el mismo tipo de especies que el área cultivada su factor de almacenamiento de C es otro.

7.2.2 Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo

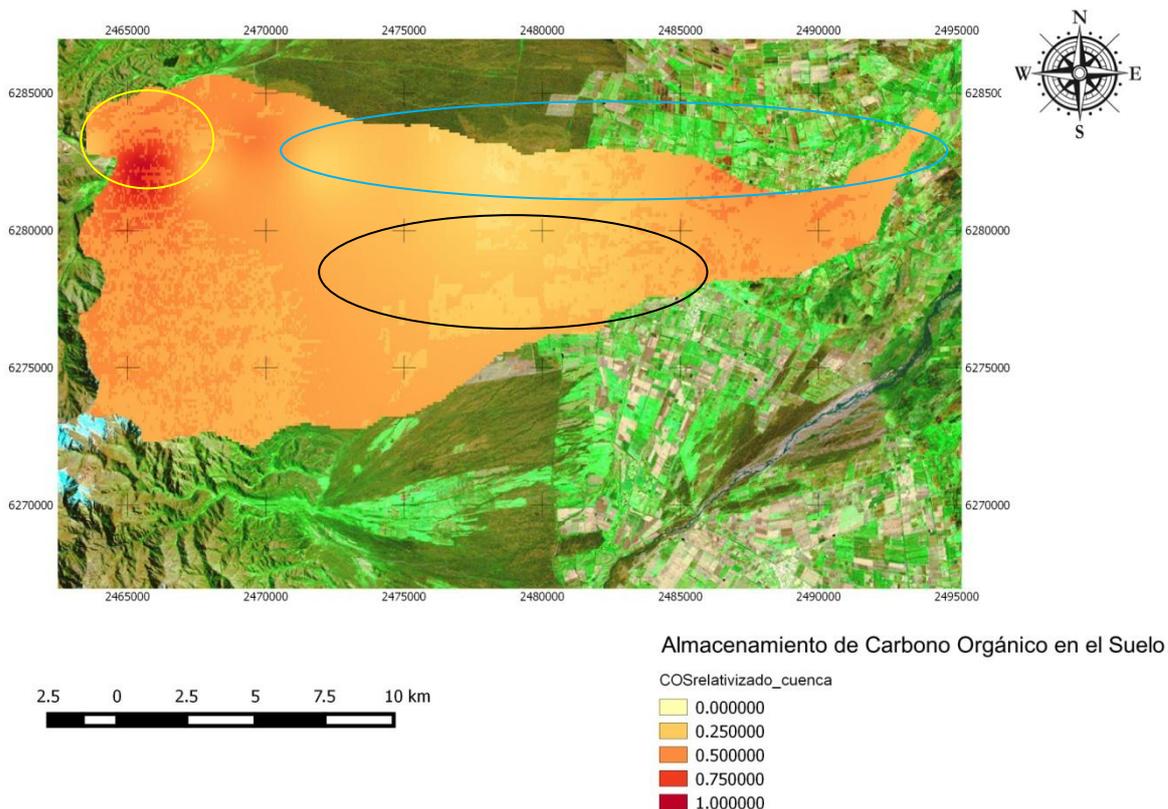


Figura 7: Almacenamiento de Carbono Orgánico en el Suelo

Si observamos la parte superior de la imagen (óvalo color celeste), podremos ver que en la parte baja de la cuenca (área cultivada), existen valores de almacenamiento mayores a 0,5 y en la zona central de la cuenca (monte) valores menores a 0,5. Esta diferencia entre los TED en la función ecosistémica, se debe principalmente a los valores de referencia del

carbono orgánico en el suelo (COS_{ref}). Las labores culturales de incorporación de material vegetal extraído en la poda y la incorporación de abono al suelo que llevan a cabo los agricultores en sus fincas desde hace años, le confieren al agroecosistema valores mayores. Tal situación no ocurre en el Monte Nativo, donde la ausencia de incorporación de material vegetal o abonos y la rápida oxidación de la MO presente en la primera capa de suelo, le confieren a esta zona bajos valores referencia en el almacenamiento de carbono orgánico. En este caso los factores de cambio (F_{lu} , F_{mg} y F_a) no ejercen demasiada influencia en el valor final de la función.

En la parte alta de la cuenca (zona de inicio de la cordillera) observamos un área de valores muy cercanos al 1 (óvalo color amarillo) debido a la presencia de vegas, que por sus propias características, son suelos con un alto contenido de materia orgánica (MO), por lo que consecuentemente almacenan grandes cantidades de carbono orgánico.

Lo que ocurre en la parte media de la imagen que contiene a la cuenca (óvalo negro), donde el Monte Nativo posee valores más altos de almacenamiento de C que el Agroecosistema, es debido a que en esta zona tiene poca historia de prácticas culturales de incorporación de MO al suelo, por lo que los contenidos de la misma en ambos TED son muy similares. Además, en la parte alta de la cuenca predomina la vid conducida en espaldero y regada mediante goteo, lo que ocasiona la falta de cobertura en el interfilas.

7.2.3 Control de Erosión por Cobertura Vegetal

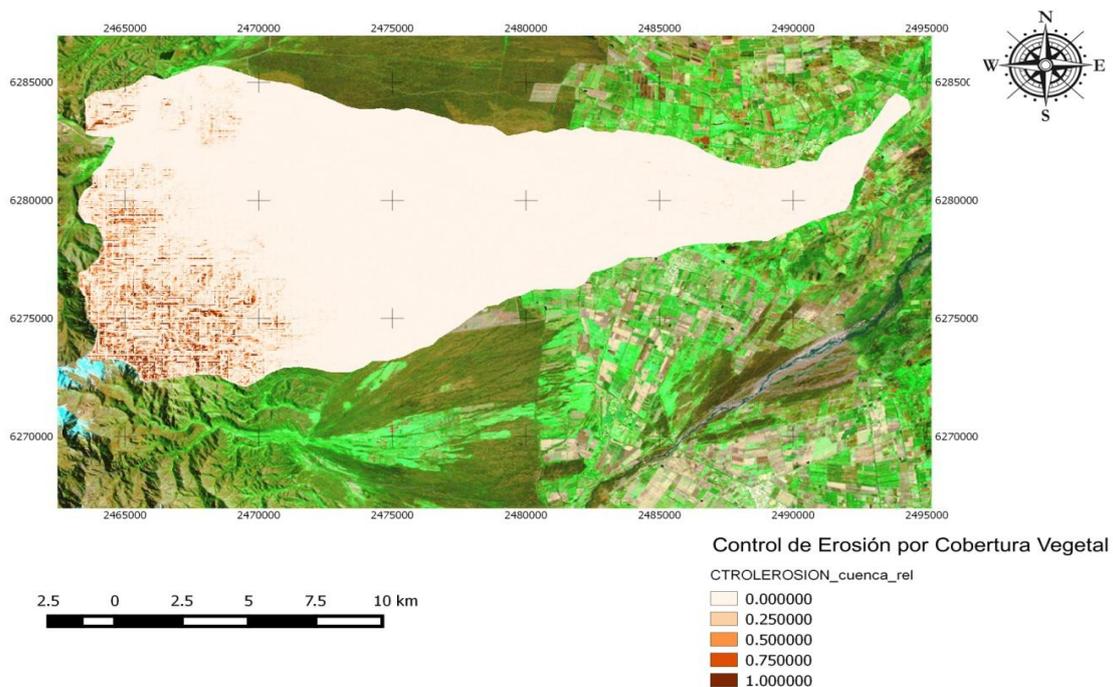


Figura 8: Control de Erosión por Cobertura Vegetal

En el mapa se puede observar que el área de cordillera presenta valores de control de erosión altos, cercanos a 1, lo que significa que el $A_{m\acute{a}x}$ (tasa de erosión sin vegetación presente) es mayor al A_j (tasa de erosión con vegetación), influenciado por altos valores de pendiente.

En el caso del resto del área vemos que la diferencia entre $A_{m\acute{a}x}$ y A_j no es muy grande para Monte Nativo y para el Agroecosistema, lo que nos permite decir que la influencia de la cobertura vegetal y las prácticas de conservación del suelo no ejercen control de erosión significativa.

En conclusión, en la cuenca el factor de erosión dominante es la pendiente, por el contrario la cobertura vegetal ejerce escasa influencia en el control de la erosión, ya que no se observan diferencias de este valor en el mapa de la FE, a pesar de que el TED Agroecosistema posee mayor cobertura que el TED Monte nativo.

Como observación habría que buscar otra metodología que estime mejor el valor de C de la RUSLE, como el planteado por Zhou et al. (2008) o por Asis y Omasa. (2007). Los últimos autores citados opinan en su trabajo que *“los métodos tradicionales de extracción de información sobre vegetación de los datos de teledetección como las técnicas de clasificación y los índices de vegetación resultaron ser inexactas”* y sus resultados arrojaron que *“la estimación del valor del factor C usando LSMA (análisis de mezcla espectral de los datos Landsat ETM) se correlaciona fuertemente con los valores medidos en el campo, obteniendo un coeficiente de correlación (r) de 0,94. Además los análisis comparativo entre NDVI y factores derivados C -LSMA también demostró que este último produjo una variabilidad espacial más detallada, así como genera estimaciones de erosión más precisas cuando se utiliza como entrada al modelo RUSLE.”*

En este trabajo el cálculo del factor C se realizó a partir del NDVI, y para el caso del Monte Nativo lo subestimó, ya que arrojó valores muy altos, similares al del suelo desnudo. Sin embargo, Zivkovic et al. (2013) estiman en 31,4 % la cobertura vegetal media en el Monte. Por otro lado, en el Agroecosistema, la metodología aplicada sobreestima el valor de C .

La importancia de estimar correctamente el valor de C , radica que entre los factores que afectan a la erosión del suelo en las cuencas hidrográficas de zonas montañosas, el factor C y LS son los más importantes (Zhou et al., 2008). Además, con frecuencia el factor C es utilizado para comparar el impacto relativo de opciones de manejo o planes de conservación (Renard et al., 1997).

7.2.4 Protección de acuíferos por cobertura vegetal

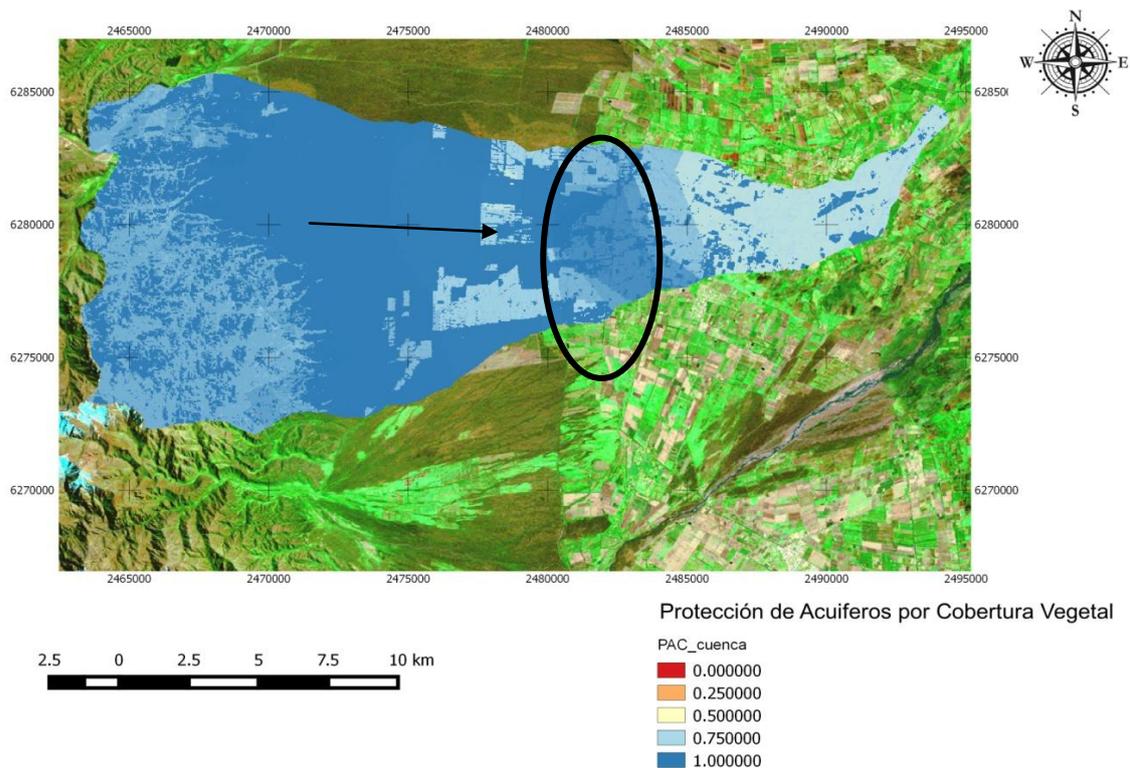


Figura 9: Protección de Acuíferos por Cobertura Vegetal.

La mayor protección o menor vulnerabilidad la encontramos en la zona de transición entre los acuíferos confinado y libre, con valores entre 0,9 y 1, que se corresponde con el límite del área cultivada y la expansión de la frontera agrícola, y que en el mapa se observa delimitado por un óvalo negro.

En el área correspondiente al TED Monte Nativo, aumenta la vulnerabilidad hacia el límite entre cultivado y nativo, por la existencia de zonas aisladas de cultivo que en ocasiones están desmontadas, lo que se puede observar señalado por una flecha en el mapa.

El TED Agroecosistema es la zona de menor protección del acuífero, debido a su alta vulnerabilidad, definida por el modelo DRASTIC. Esto se debe principalmente a que el acuífero en esa área posee muy poca profundidad, incluso con zonas de surgencia.

Si analizamos el factor Recarga, realizada sobre 30 pozos, la mayoría ubicados en el área cultivada podemos decir que es mayor en el límite del Monte Nativo y el Agroecosistema y muy baja en el resto del área, es decir que la vulnerabilidad es baja en el límite y aumenta en sus alrededores.

Teniendo en cuenta la textura del suelo, el TED Monte Nativo (arenoso a franco arenoso) hace más vulnerable a los acuíferos de ser contaminados que el suelo franco-limoso del TED Agroecosistema, ya que este último de textura más fina limita la percolación de contaminantes.

Pudimos notar que la pendiente no ejerce gran influencia en cuanto al índice DRASTIC.

Analizando la conductividad hidráulica de la zona, el valor es mayor en el TED Monte Nativo que en el Agroecosistema.

En el caso del factor suelo en la zona no saturada (I), provoca que el TED Monte Nativo sea más vulnerable por su textura de grava y arena que no retiene contaminantes. Cabe destacar la importancia de su ponderador, ya que éste es mayor, junto con la profundidad del acuífero, comparándolo con los ponderadores de los factores mencionados anteriormente.

Por lo antes analizado para esta función ecosistémica, podemos concluir que el factor que más diferencia de vulnerabilidad produce entre los dos TED es el de profundidad del acuífero (D).

7.3 Evaluación espacial de la provisión relativa de los servicios ecosistémicos relevantes.

La siguiente matriz (Tabla N°8) muestra el aporte relativo medio de cada FE (columnas) a cada SE (filas) asignada por el plantel de expertos. Los mapas generados por su integración, se discuten en la siguiente sección “Modelos y Mapas de Provisión de SE”.

Tabla N°8 Matriz de integración. Valoración del aporte relativo de cada función (columnas) a cada servicio (filas). 0: aporte bajo o despreciable, y 1: para la/s función/es que ejerce/n la máxima contribución dentro de cada servicio.

		FUNCIONES AMBIENTALES			
		Almacenamiento de carbono orgánico en el suelo	Almacenamiento de carbono en biomasa	Control de erosión	Protección de acuíferos por cobertura vegetal
SERVICIOS AMBIENTALES	Regulación climática	0.16	0.65	0.29	0.30
	Amortiguación de inundaciones	0.40	0.52	0.58	0.60
	Recarga de lagos y embalses	0.17	0.21	0.60	0.79
	Disponibilidad de aguas subterránea limpia/ calidad de acuífero	0.42	0.15	0.62	0.85
	Producción potencial de cultivos	0.80	0.70	0.73	0.68
	Disponibilidad de agua superficial limpia	0.48	0.35	0.70	0.60
	Recarga de acuíferos	0.45	0.42	0.63	0.92
	Calidad del aire	0.25	0.78	0.40	0.27
	Producción ganadera	0.78	0.90	0.60	0.53
	Producción forestal	0.68	0.95	0.72	0.58
	Potencial de recreación	0.23	0.77	0.82	0.59

En la matriz el valor más alto de aporte relativo (0,95 y 0,9) se observa en la función “almacenamiento de carbono en biomasa” al servicio de “producción forestal y producción ganadera” y la misma FE para el servicio de “calidad de acuífero” con el menor valor de aporte (0,15) de toda la matriz. Además la función de “almacenamiento de carbono orgánico en el suelo” realiza su mayor aporte relativo (0,80) al SE “producción potencial de cultivos” y el menor aporte (0,16) al servicio de “regulación climática”. También se observa que el “control de erosión” aporta en mayor medida (0,82) al servicio de “potencial recreativo” y “la protección de acuíferos por cobertura vegetal” aporta con un valor de 0,92 al SE de “recarga de acuíferos”.

7.3.1 Modelos y Mapas de Provisión de SE.

Se discutirán los resultados obtenidos de provisión relativa de servicios ecosistémicos de la cuenca del Arroyo Grande, con la aplicación del protocolo ECOSER.

Servicios de Aprovisionamiento

7.3.1.1 Calidad del Aire

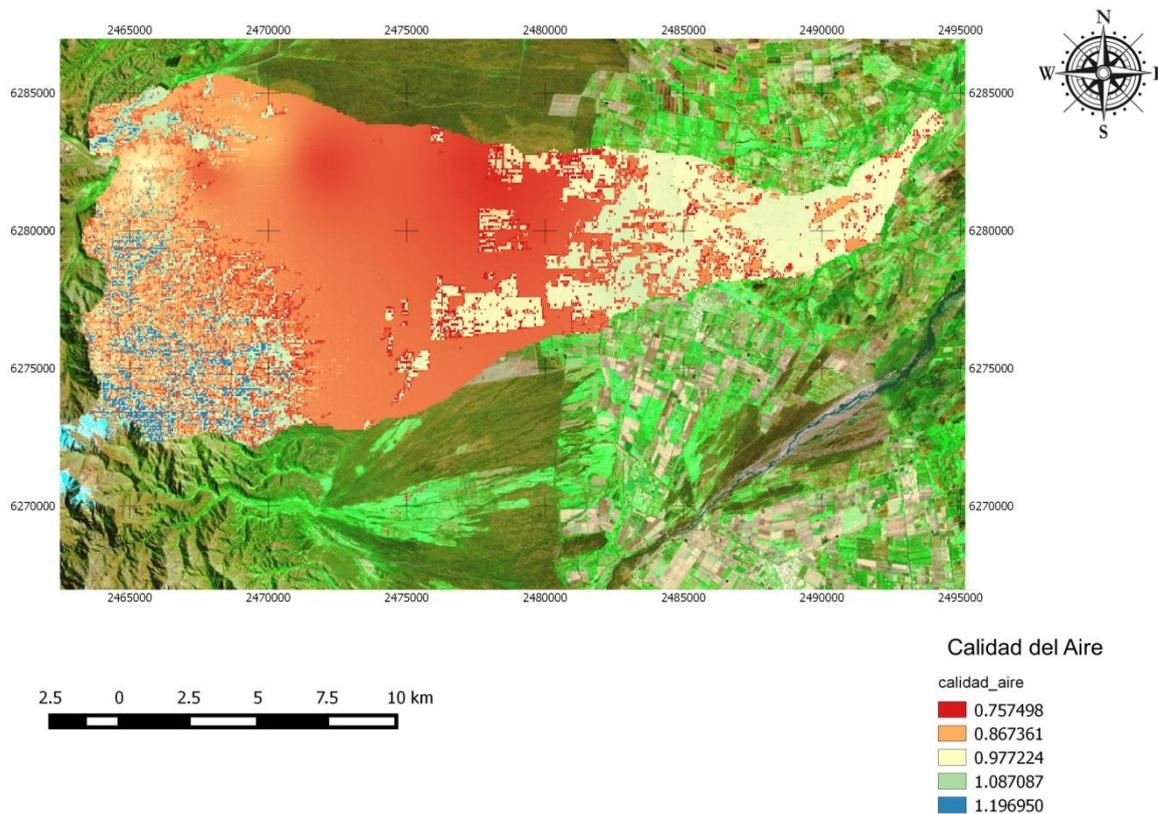


Figura 10: Calidad del Aire

Como se puede observar en la figura 10, encontramos valores medios del SE en el Agroecosistema, estos a su vez, son más altos que los encontrados en el Monte Nativo. Ello es debido a la captación de Carbono que realiza la mayor densidad de biomasa del cultivo. Los resultados nos permiten concluir que la FE de mayor peso para este servicio es el almacenamiento de carbono en biomasa. Esta función está muy relacionada con el concepto de cambio climático y con la consecuente regulación climática, no así con la calidad del aire, que hace referencia a la presencia y efecto de sustancias de origen antrópico que afectan al ambiente y a la salud del hombre.

También es importante destacar que ninguna de las FE del trabajo tiene en cuenta mediciones de contaminantes atmosféricos, como los gases de combustión de tractores, maquinaria agrícola y vehículos. En tal caso los valores serían totalmente distintos, mostrando que la calidad del aire en el Monte Nativo es mejor, semejante pero obviamente no en la misma magnitud, al SE de purificación del aire que brindan los bosques (Ninan y Inoue, 2013).

7.3.1.2 Disponibilidad de Agua Superficial Limpia

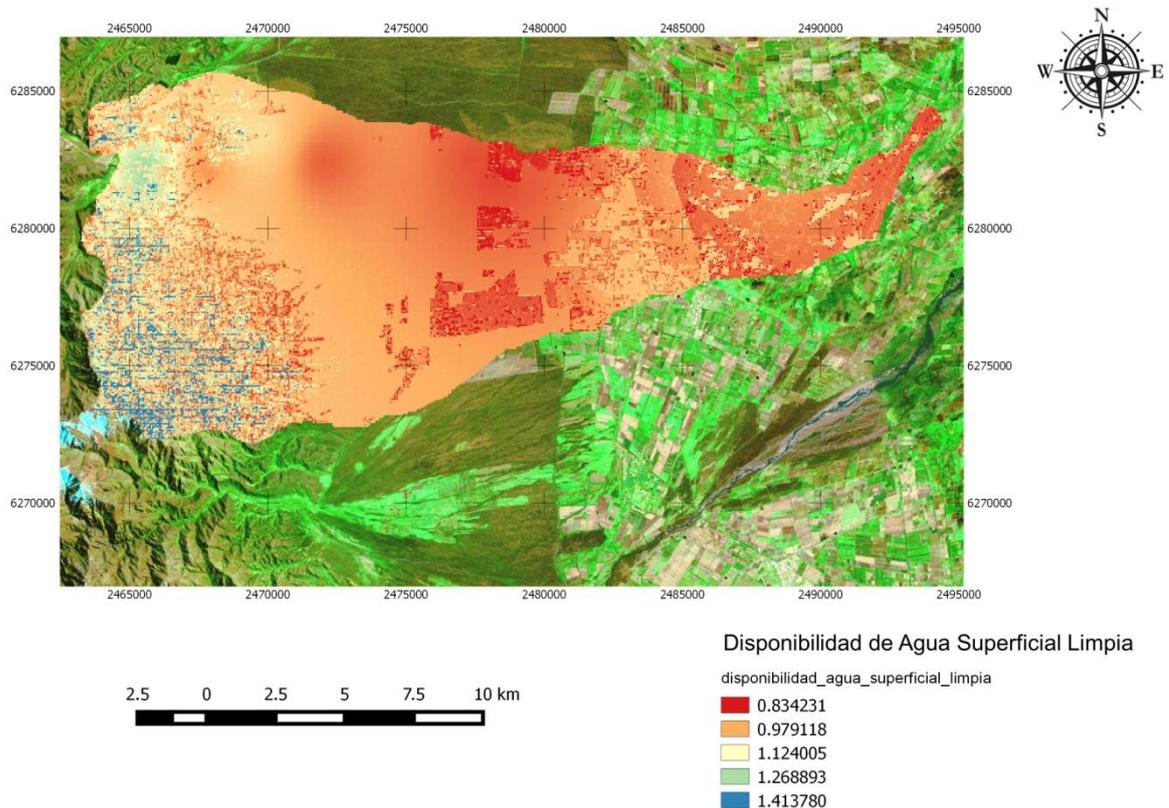


Figura 11: Disponibilidad de Agua Superficial Limpia

La imagen muestra que no hay grandes diferencias entre los TED que se están analizando. Los valores varían entre 0,8 y 0,9, probablemente debido a que las FE utilizadas en la integración no son representativas o ejercen poco peso en lo que respecta a la provisión del SE. Se propone medir otras FE relacionadas al filtrado de nutrientes o de sedimentos por vegetación, que están más relacionadas con el tema de calidad del agua.

Además la FE de control de erosión se ponderó con mayor valor dentro de las cuatro medidas, y como desarrollamos anteriormente, se encontraron similitudes en los valores, ya que la cobertura vegetal y las prácticas de manejo agrícola no eran los factores relevantes, como sí lo era la pendiente. Es por ello que no se observan grandes diferencias en la provisión de este servicio.

La mejora y desarrollo en la predicción de la provisión de este SE, se podría realizar sobre los humedales que se encuentran en la parte alta y baja de la cuenca (Oddi, 2010).

7.3.1.3 Calidad de Acuíferos

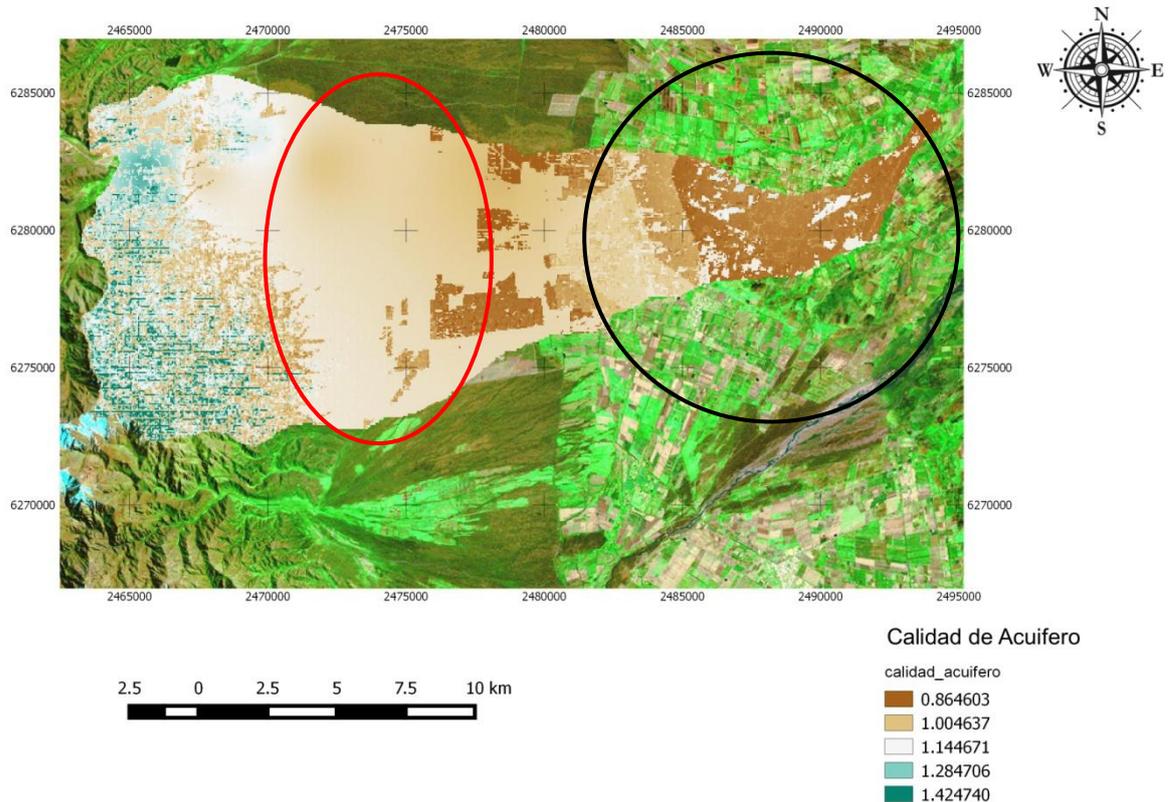


Figura 12: Calidad de Acuífero

Se identifican en la figura 12 dos zonas notablemente diferenciadas, el Monte Nativo (círculo rojo) con valores de entre 1 y 1,15 de provisión, y con un círculo negro el Agroecosistema con valores menores. Esto indica mejor calidad del acuífero presente en el Monte en comparación con el área de desarrollo del cultivo del Valle de Uco.

Lo anterior se puede explicar por las prácticas agrícolas que fomentan la utilización de agroquímicos, que a pesar de no añadirse en grandes cantidades por el tipo de requerimiento de los cultivos de la zona, es notablemente diferente a la ausencia de incorporación, como ocurre en el Monte.

El SE de calidad de acuífero, al igual que el de recarga, se genera en la zona del Monte Nativo para ser percibido en la zona baja de la cuenca, donde se practica la agricultura. Por lo que es conveniente conservar el monte para mantener la calidad hídrica del recurso destinada a sus distintos usos.

7.3.1.4 Producción Potencial de Cultivos, Producción Forestal y Producción Ganadera.

Como servicios relacionados a la producción se encuentran: la Potencial Producción de Cultivos, la Producción Forestal y la Producción Ganadera. Es de destacar que son los tres SE de mayor provisión en la totalidad de la cuenca y en comparación con todos los analizados. De ellos podemos decir que los tres presentan mayor provisión en el Agroecosistema que en el Monte Nativo, sobre todo por la influencia de las FE de Almacenamiento de Carbono Orgánico en el suelo y de Carbono en Biomasa, que obtuvieron mayor ponderación por parte de los expertos consultados.

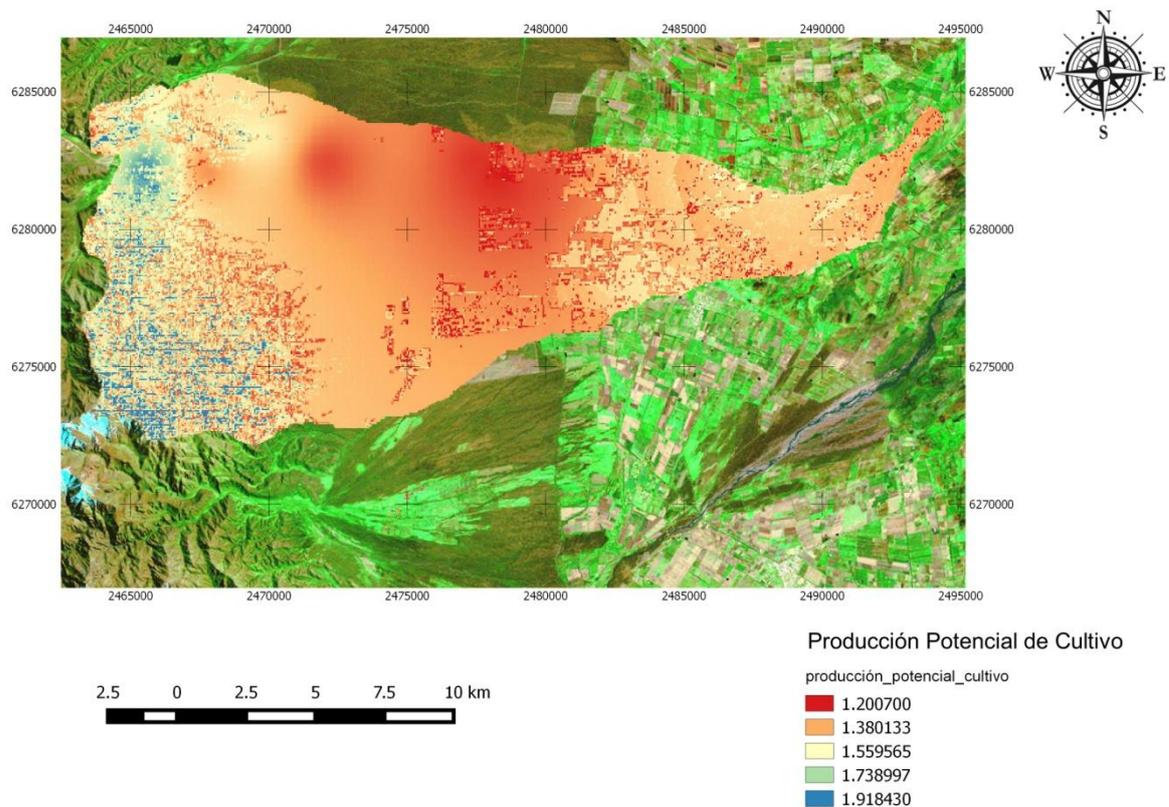


Figura 13: Producción Potencial de Cultivos

En el SE Producción forestal encontramos la mayor diferencia entre los TED. El Monte con un valor de 1,24 y el Agroecosistema con un valor de 1,6, además de ser el servicio ecosistémico con mayor valor de provisión.

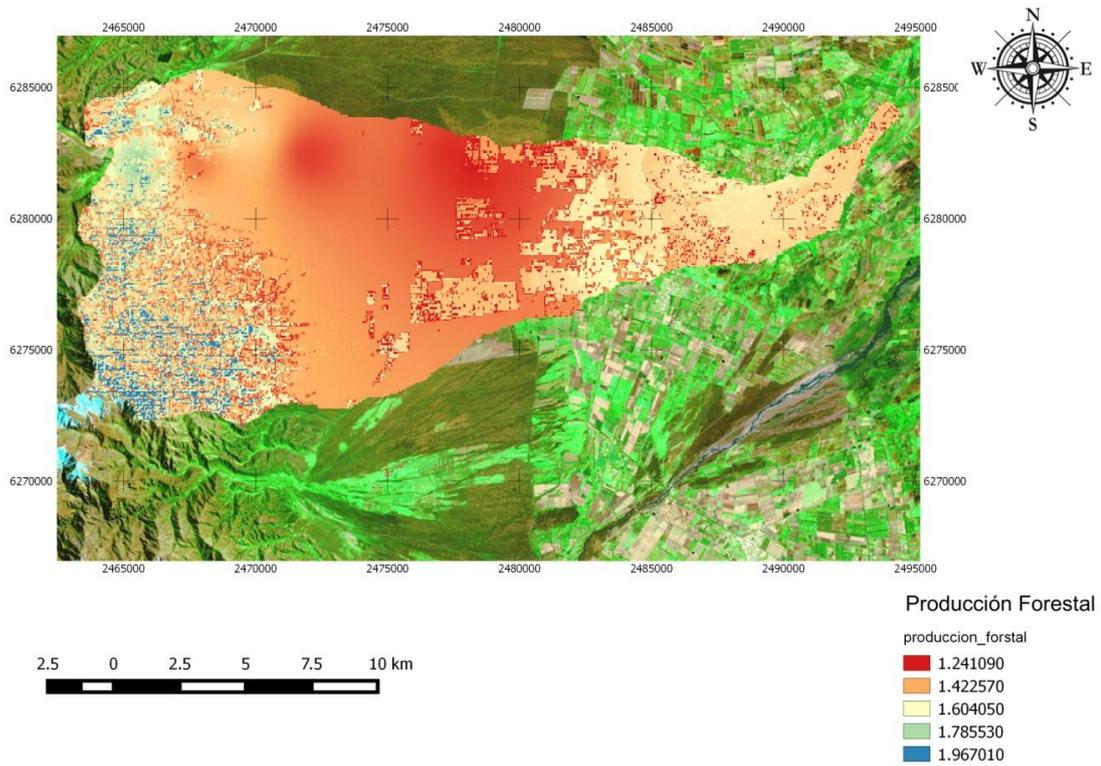


Figura 14: Producción Forestal

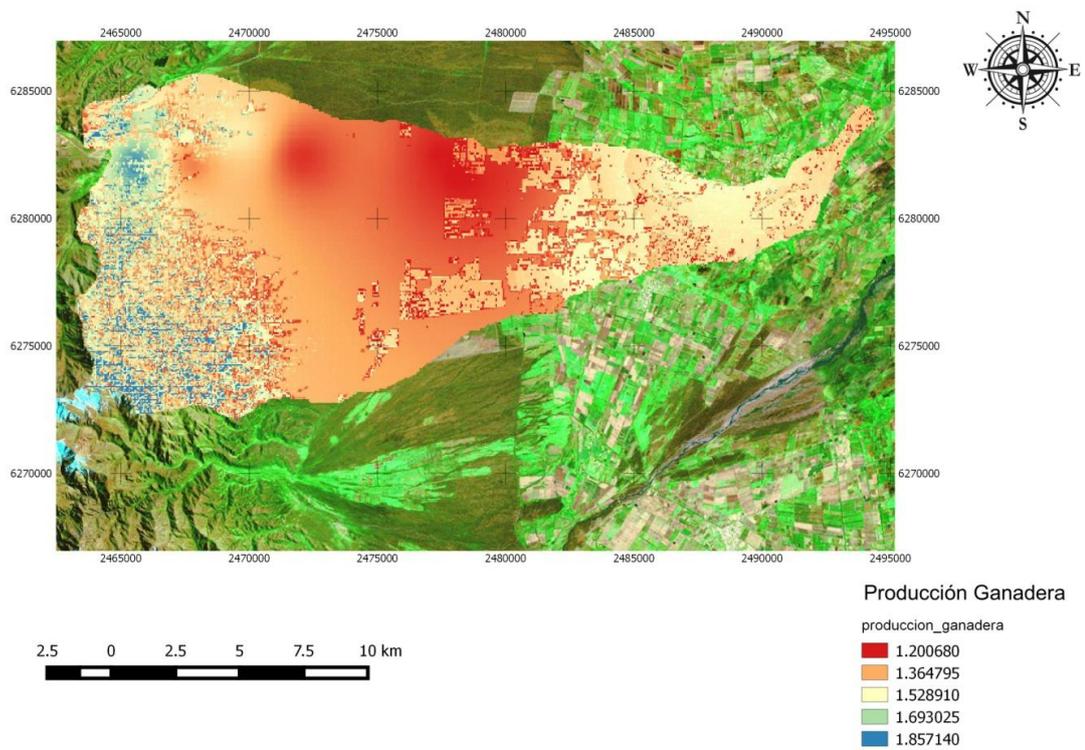


Figura 15: Producción Ganadera

7.3.1.5 Recarga de Acuífero

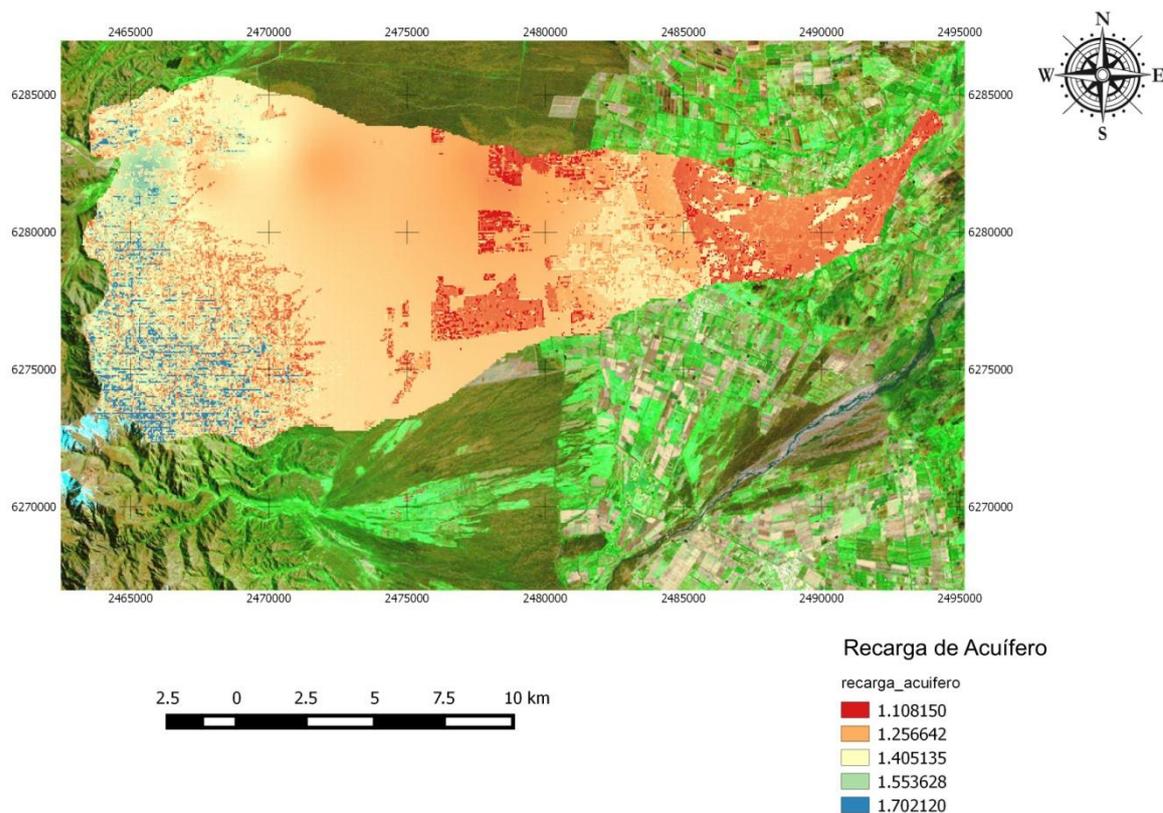


Figura 16: Recarga de Acuífero

El mapa de la figura 16 muestra dos zonas marcadamente diferenciadas, la de mayor recarga correspondiente al Monte Nativo y de menor al Agroecosistema. Esto ocurre debido a la textura del suelo que permite mejor percolación, la conductividad hidráulica que tiene el monte y la existencia de acuífero libre. En este caso el SE es generado en el Monte Nativo para ser captado como beneficio en el uso del agua subterránea por los cultivos desarrollados en el Agroecosistema. Por lo que es conveniente conservar el monte como zona de recarga para mantener el balance hídrico de agua subterránea.

Las predicciones de los modelos sobre cambio climático para la región cordillera anuncian, que la ocurrencia de altas temperaturas favorece que la precipitación ocurra en forma de lluvia o que la nieve en sitios altos protegidos se funda rápidamente. Los cambios ocurridos y los proyectados producirán potencialmente que el hidrograma de los ríos que se originan en los Andes se modifique sustancialmente, en especial durante la estación seca (Boninsegna et al., 2013). La importancia de considerar estos cambios radica en los posibles impactos o cambios sobre los SE que presta nuestra Cordillera de los Andes, como justamente el que estamos analizando, recarga de acuíferos y otros como recarga de lagos y embalses.

7.3.1.6 Recarga de Lagos y Embalses

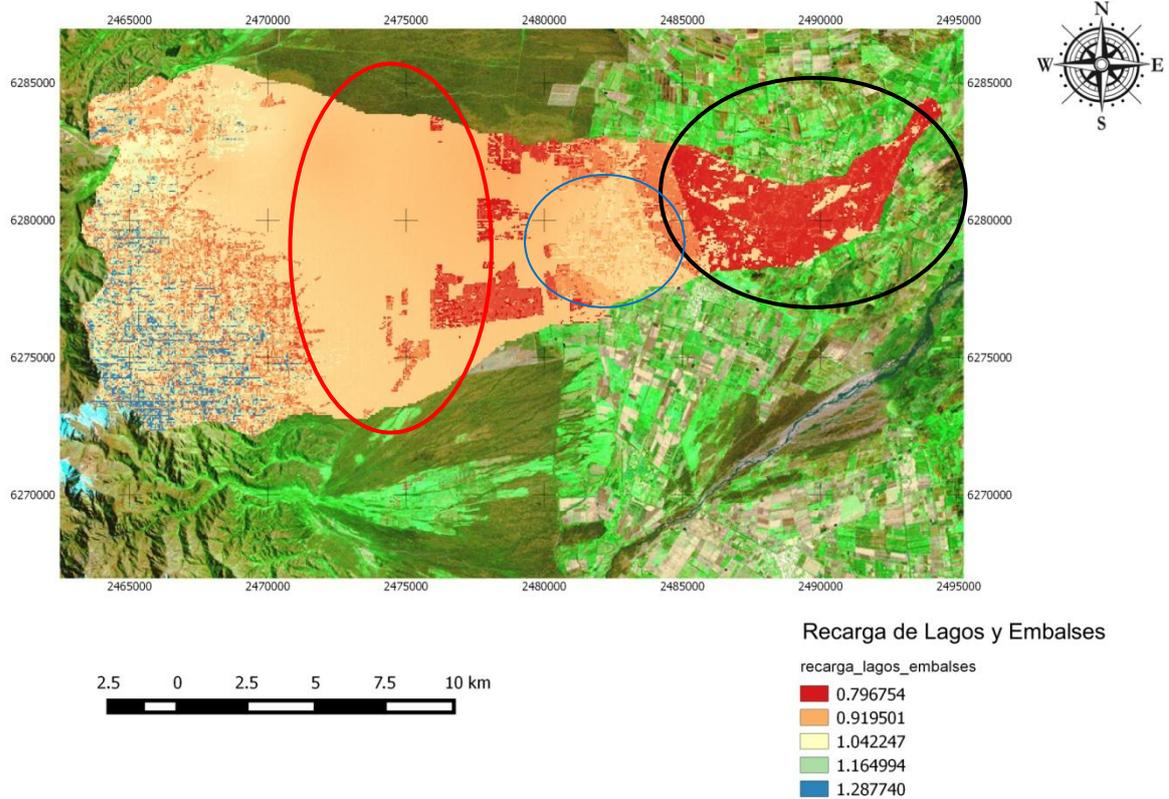


Figura 17: Recarga de Lagos y Embalses

Para este SE se observa que el servicio de Recarga de lagos y embalses coincide con lo descrito para la Recarga de Acuífero, ya que la FE de Protección de Acuíferos por Cobertura Vegetal en ambos, es la de mayor ponderación, muy cercana al máximo, lo que influye totalmente en la definición de la provisión del SE de recarga. Con la salvedad de que la provisión de este servicio es menor en toda la cuenca en comparación con la de recarga de acuíferos.

Se podría decir con ello que los expertos perciben mayores beneficios del SE de Recarga de acuíferos que del Recarga de Embalses para esta zona.

7.3.1.7 Amortiguación de Inundaciones

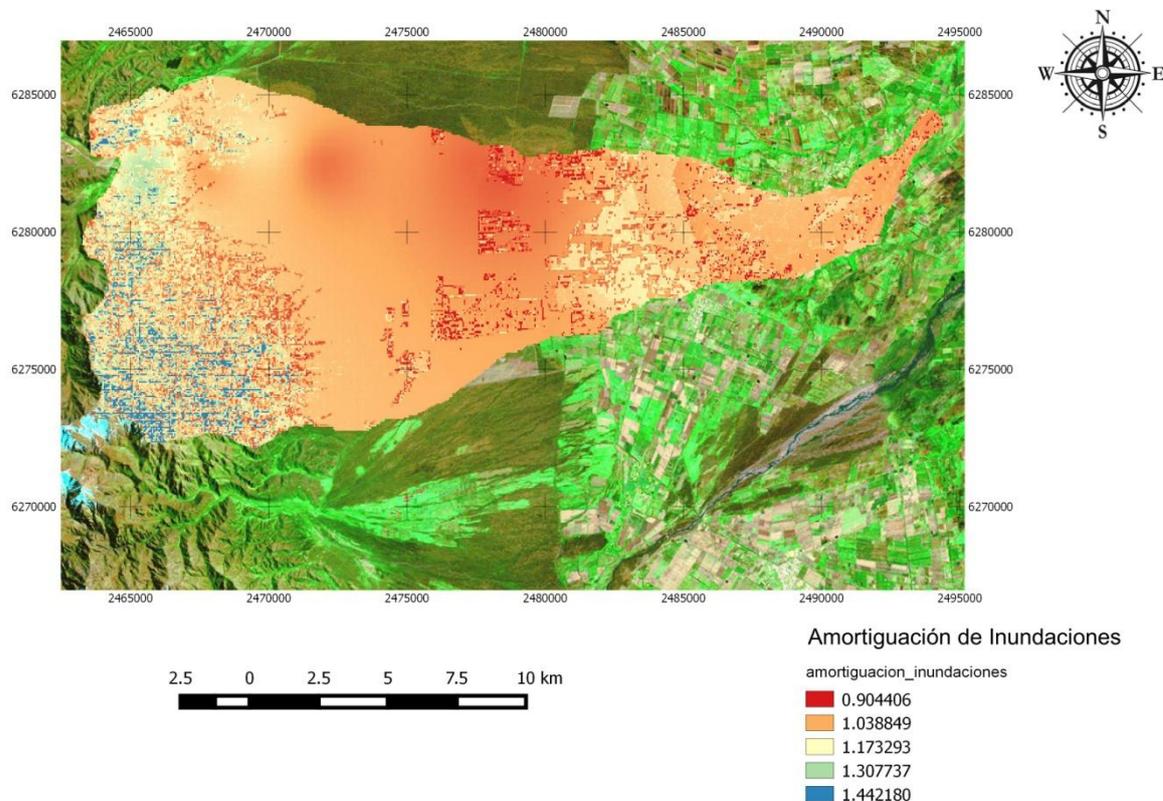


Figura 18: Amortiguación de Inundaciones

Del análisis de la imagen podemos decir que la provisión del servicio es mayor en el Agroecosistema, ya que el control de la erosión hídrica es más alta debido a la mayor densidad de plantas, a la mejor estructura del suelo cultivado por las prácticas agrícolas de incorporación de MO y por la menor pendiente que existe en la zona baja de la cuenca, que se encuentra entre 1% y 3%. Aunque en general no se pueden aseverar grandes diferencias con el Monte Nativo.

Analizando conjuntamente los actuales y futuros impactos predichos como consecuencia del cambio climático, como el aumento de intensas precipitación líquidas en lugar de nevadas para la cordillera (Boninsegna et al., 2013), la modificación de cauces naturales que realizan algunos grandes emprendimientos vitivinícolas de la zona, la falta de precaución y planificación en el diseño de plantaciones junto a cauces naturales (ej. obras de contención de sólidos), el desmonte para la implantación de vid y los suelos desnudos; se puede visualizar el agravamiento del problema de inundaciones, con perjuicios a la salud y riesgo de vida, daños en la producción y los costos económicos que conlleva.

Por lo antes expuesto, creemos que sería necesario para este caso, medir otras FE como retención de excesos de precipitación, infiltración y escurrimiento superficial, que le otorgaría una mayor fidelidad a la provisión del SE. Como también así, observar los resultados aplicando una mejor predicción de la FE Control de Erosión, teniendo en cuenta lo discutido en los resultados de “*Estimación de índices de Funciones Ecosistémicas*” para el valor de C de la RUSLE, fundamentándonos en que la reducción de la cobertura vegetal, aumenta considerablemente la escorrentía y la erosión del suelo, dando lugar a inundaciones y deslizamientos de tierra (Varis y Vakkilainen, 2001; Sidle et al, 2004 en Zhou et al., 2008).

7.3.1.8 Regulación Climática

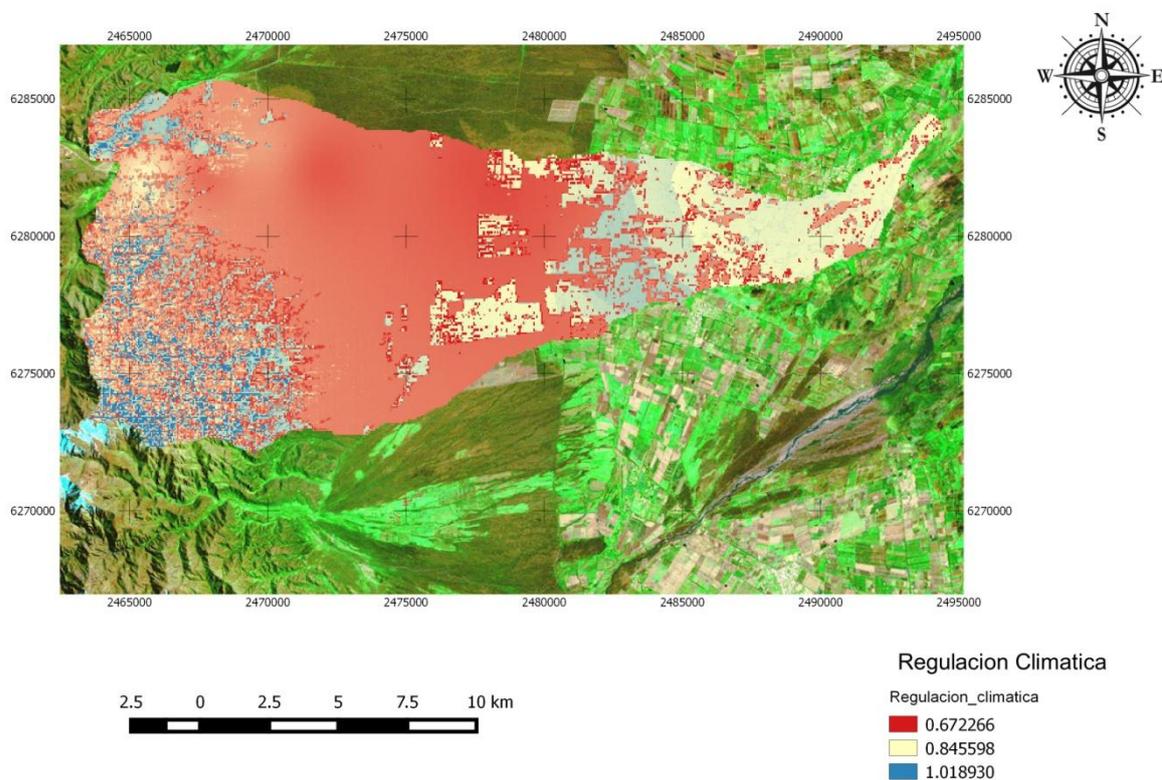


Figura 19: Regulación Climática

La provisión del SE de Regulación Climática es ofrecida mayormente por el Agroecosistema, debido a la captación de carbono ejercida por el cultivo al poseer mayor densidad de vegetación, lo que aporta en la disminución de la concentración de este gas de efecto invernadero, provocando su aporte al cambio climático que consecuentemente influye en la regulación climática

A nuestro parecer los tipos de actividades que se emplazan en la cuenca, mayoritariamente agrícolas, no perjudican ni mejoran en gran medida la regulación del clima. “*El incremento en la atmosfera de los gases de efecto invernadero, al que se le atribuye los cambios recientes del clima, está alterando el funcionamiento de las “torre*

captadora” de agua (cordillera) al aumentar las temperaturas y modificar la cantidad y distribución estacional de las precipitaciones” (Boninsegna et al., 2013). Las causas de estos impactos, que están íntimamente relacionado con el servicio de regulación climática, se encuentran en otra escala, hacemos referencia a una escala más global. Los impactos mencionados, sí los visibilizamos y vivenciamos a escala de cuenca perjudicando otros SE. Por lo que quizás esta zona no sea un área que tenga como oferta ecosistémica la regulación climática, como sí ocurre con otros tipos de ecosistemas, por ejemplo los bosques.

Servicios Culturales

7.3.1.9 Potencial de Recreación

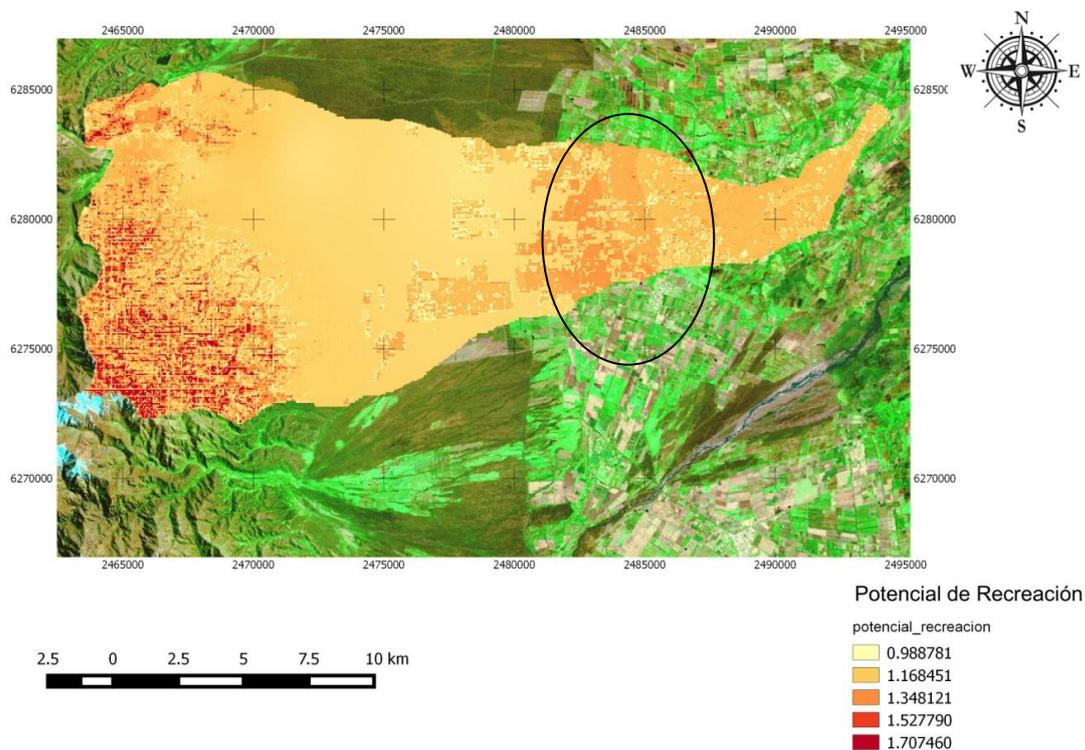


Figura 20: Potencial de Recreación

Se podría describir como el SE más homogéneo en su provisión, porque es el que menor diferencias presenta entre los TED analizados. Observando valores mayores en el límite de la frontera agrícola, demarcado con un círculo negro y en general es mayor en el Agroecosistema que en el Monte Natural.

Similar a los resultados conseguidos en este trabajo, Weyland y Laterra (2013) revelaron al oasis de riego de la región de Cuyo (Monte) como una de las áreas de mayor potencial recreativo, constituyendo la agricultura vinculada al oasis y la industria turística asociada a las bodegas como atractivos de la zona. Esto condicionado al posible factor de las

limitaciones ambientales existentes en las zonas áridas que genera una concentración en el espacio de las actividades humanas.

En coincidencia se utilizaron métodos indirectos para la predicción del servicio, siendo el de Weyland y Laterra (2013), más directo que el nuestro. Al igual que nosotros, con las limitaciones en la exactitud, de utilizar solamente procesos biofísicos en su predicción, frente a lo que se podría haber logrado con un método basado en encuestas a los actores sociales.

Por lo que se puede decir que los resultados antes expuestos deben tomarse con cautela y se debería seguir trabajando utilizando una metodología más acorde a SE culturales como dicen Weyland y Laterra (2013) *“los SE culturales presentan varias particularidades y diferencias con otros servicios que deben ser tenidas en cuenta”*.

También podemos relacionar la provisión del SE con un tema que se encuentra en auge, el cambio climático. Boninsegna et al. (2013) aseveran que el remplazo de las tormentas de nieve por lluvias intensas en el sector cordillerano trae consigo impactos en los SE de recreación de la zona ya que la ocurrencia de intensas lluvias aumenta los sólidos transportados por los ríos afectando obras de infraestructura, como puentes, camping o complejos de cabañas y además incrementa el deslizamiento en los caminos andinos afectando el transporte.

7.3.2 Un aporte social

La ponderación de las FE realizada por el panel de expertos (grupo de interés) se consideró como una estimación de la importancia relativa de diferentes beneficios derivados del funcionamiento del ecosistema para estos referentes sociales calificados (RSC). Se consideraría como una valoración social de un sector dentro del conjunto de todos los actores sociales.

La consideración de importancia relativa, nos permitió poder estimar que para este grupo de interés, los servicios de Recarga de Lagos y Embalse, Regulación Climática y Calidad del aire son los de menor beneficio percibido, al ser evaluados como los de menor provisión, clasificándolos en “Poco relevantes”.

Contrariamente, los servicios de producción de cultivo, ganadera y forestal han sido considerados los de mayor provisión, clasificándolos como “Muy relevantes”.

Es discutible esta consideración, por el hecho de que una mayor provisión no necesariamente significa que los referentes sociales perciban más beneficios de esos SE de la cuenca, sino quizás el estrecho número de FE que se les otorgó para la ponderación

condicionó sus elecciones. En otras palabras, las funciones de almacenamiento de carbono tanto en biomasa como en suelo, el control de la erosión y la amortiguación de inundaciones por cobertura vegetal forman específicamente parte del servicio de Producción de Cultivos, distinto al servicio de Recarga de Lagos y Embalses, que puede ser brindado por otras FE aún más importantes, como por ejemplo infiltración y escurrimiento superficial.

7.3.3 Análisis general

La relativización de la totalidad de los SE, nos permite comparar su provisión según los TED.

En la Tabla N°9 se observa con signo positivo (+) y su casillero de color verde al TED de mayor provisión, con signo negativo (-) al de menor provisión y con cero cuando no se encontraron diferencias. El uso de colores nos permite realizar un análisis rápido de la situación.

Tabla N°9. Comparación de la provisión de servicios ecosistémicos entre el TED Monte Nativo y el TED Agroecosistema. Positivo (+): mayor provisión, Negativo (-): menor provisión y cero (0): no hay diferencias en la provisión.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS		Tipo de Ecosistema Dominantes (TED)	
		Monte Nativo	Agroecosistema
Aprovisionamiento	Calidad de acuífero	(+)	(-)
	Calidad del aire	(-)	(+)
	Disponibilidad de agua superficial limpia	0	0
	Producción ganadera	(-)	(+)
	Producción potencial de cultivos	(-)	(+)
	Producción forestal	(-)	(+)
Soporte	Recarga de acuíferos	(+)	(-)
	Recarga de lagos y embalses	(+)	(-)
Regulación	Regulación climática	(-)	(+)
	Amortiguación de inundaciones	(-)	(+)
Culturales	Potencial de recreación	(-)	(+)

A simple vista se puede decir que el Agroecosistema provee de mayor número de servicios. De un total de 11 (once) servicios, 7 (siete) son atribuidos al agroecosistema, 4 (cuatro) en la categoría de aprovisionamiento, ninguno de soporte y la totalidad de los servicios de regulación y culturales.

El Monte Nativo provee 3 (tres) servicios ecosistémicos en mayor proporción que el Agroecosistema. Uno de ellos en la categoría de aprovisionamiento y 2 (dos) de soporte.

El servicio de Disponibilidad de Agua Superficial Limpia no presenta diferencias notorias en el responsable de su provisión, por lo que ha sido clasificado como neutro.

Destacamos la importancia que tiene el Monte Nativo como proveedor de servicios de soporte y aprovisionamiento en la parte alta de la cuenca, en este caso relacionados con la provisión de agua y su calidad. Para ofrecer su captación en la parte baja de la cuenca, importante y necesaria en la producción de otros servicios, como los relacionados con el aprovisionamiento de leña, ganado y alimentos, que son brindados por el Agroecosistema.

En lo que respecta a los servicios de regulación, deberían tomarse con cautela, por lo discutido en los resultados particulares de cada uno de ellos. Que el agroecosistema provea mayor amortiguación de inundaciones es totalmente discutible al hecho de que también son parte del problema al modificar los cauces naturales. Es seguro que la mayor densidad de vegetación y la mejor estructura del suelo, son factores que convierten al agroecosistema en mejor amortiguador de inundaciones, aunque a nuestro parecer es prudente ampliar su análisis con la medición de otras funciones ecosistémicas, para verificar y otorgar certeza a los resultados.

7.4 Validación del protocolo ECOSER e identificación de sus limitaciones y virtudes

La validación de la metodología planteada por el protocolo ECOSER, desarrollado por el INTA Balcarce, nos permite identificar algunas virtudes, como su aplicabilidad a un amplio rango de casos, incluyendo la capacidad de adaptación y ajuste de las funciones ecosistémicas a las condiciones particulares de cada sitio y en su contexto espacial.

Otro de sus aspectos benéficos es la posibilidad y/o necesidad de llevar a cabo un trabajo interdisciplinario, no sólo para su aplicación, sino también para la construcción del protocolo. Quizá sea el más importante por la nueva complejidad de las problemáticas ambientales.

Permite adquirir conocimientos más detallados y profundos del funcionamiento del Monte Nativo de zonas áridas, en su oferta de bienes y servicios, útiles en dos aspectos. El primero en la optimización de procesos de adaptación frente a los impactos causados y pronosticados por el cambio climático y el segundo en ampliar el conocimiento, poco desarrollado, sobre los beneficios que pueden brindar estos ecosistemas al momento de decidir su conservación.

También se puede utilizar como herramienta para evaluar formas de producción del agroecosistema que posibiliten la sustentabilidad de la cuenca.

Una virtud a resaltar es la incorporación del valor social, con metodología orientada a reflejar valores basados sobre el bien común y no su valoración individual desde el punto de vista monetario, normalmente utilizado en los estudios ambientales. Reconociendo que para la sociedad no todo tiene un precio o puede ser medido en términos económicos.

Entre las limitaciones de protocolo encontramos la concepción antropocéntrica en la que se basa, al valorar los servicios en función de los múltiples beneficios que ofrecen los ecosistemas a la sociedad o la utilización del concepto de SE vinculando explícitamente a los ecosistemas con las necesidades o bienestar humano. Esto genera un vacío sobre SE que benefician el funcionamiento del ecosistema, es decir brindan un servicio al ecosistema, por ejemplo la biodiversidad o la presencia de una especie clave que sostiene otras en el ecosistema, pudiendo ser dejados de lado en la planificación, cuando actúan en forma sinérgica o complementaria con los servicios que en función de lo que percibe el hombre sí generan un beneficio. Quizás lo que se considera como función ecosistémica o “servicio intermedio” puede ser un servicio ecosistémico funcional al ecosistema y perderse de vista su importancia.

Siguiendo con la concepción antropocéntrica, los servicios relevantes y funciones ecosistémicas elegidos para su cuantificación, en algunos casos están condicionadas por un interés académicos o definida únicamente por la visión de los actores captadores de beneficios.

Otro tema es cuál es el concepto de beneficio o qué se considera bienestar humano, cuando para algunos algo puede contribuir a un beneficio mientras que lo mismo para otros es un perjuicio.

Otra de las limitaciones es la falta de disponibilidad o inexistencia de la información necesaria para la cuantificación de funciones y servicios elegidos. También sucede que existe información para algunas funciones de interés para el ámbito académico (ej: productividad) pero no para el resto. En este trabajo en particular, ocurre para el caso del Monte Nativo, lo que dificulta la aplicación o se utiliza información generalizada que aumenta la inexactitud del método.

También un aspecto limitante, que se relaciona con la información disponible, es la necesidad de poseer un buen conocimiento y realizar una abundante recopilación de datos sobre la dinámica del área de estudio y sus ecosistemas, ya que distinguir claramente las

funciones de los bienes y servicios, es un punto básico y clave al momento de trabajar en la valoración, porque una lista confusa puede dificultar el trabajo posterior.

Los criterios tomados en este trabajo para la aplicación del protocolo también tuvieron sus limitaciones y virtudes, entre ellos podemos mencionar:

- La cantidad de funciones cuantificadas, que para la integración de las mismas en la formación de servicios, resultó escasa. Esto lo explicamos en los resultados de algunos servicios ecosistémicos. La justificación del criterio aplicado es la posibilidad de conseguir los datos, las opiniones de expertos en la temática y el alcance de una tesina de grado.

- No se realizó una estimación de servicios relevantes sino que se consideró un grupo planteado por el protocolo. Este criterio de trabajo produce que en realidad algunos servicios considerados no sean en realidad brindados por la cuenca. Al mismo tiempo, por tratarse de un trabajo exploratorio, permite conseguir algún resultado útil, como la identificación de un servicio poco relevante.

El criterio de establecer un valor numérico cualquiera entre 0 (cero) y 1 (uno) para consignar el aporte de cada FE a un SE, contó con la virtud de otorgar una ponderación específica. Distinta a los valores fijos 0; 0.25; 0.50; 0.75 y 1 que pueden subestimar o sobreestimar una provisión de SE, cuando se realiza la suma del producto de cada función por su aporte medio relativo.

8. Conclusiones

La cuenca del Arroyo Grande, Tunuyán, Mendoza es un área con presentes conflictos de expansión y usos o conservación de sus recursos, al igual que la región del Valle de Uco, con una complejidad de actores sociales producto de las relaciones sociales profundamente desiguales y la concentración económica.

Este trabajo, planteado como estudio exploratorio de aplicación del protocolo ECOSER, desarrollado por INTA, para evaluar la capacidad funcional de ecosistemas y la provisión relativa de servicios ecosistémicos en la cuenca del Arroyo Grande, planteó la hipótesis de que existen diferencias en la provisión de SE según los usos del suelo. Se puede decir que en el área de estudio se diferenció claramente dos tipos de ecosistemas dominantes, el Agroecosistema y el Monte Nativo. Se mapeó la provisión relativa de 11 servicios ecosistémicos, que se utilizó para comparar la provisión de los mismos entre los TED.

Por lo desarrollado en este trabajo se puede concluir que existen diferencias en la provisión de SE según los usos del suelo, siendo el Agroecosistema proveedor de un mayor número de servicios, entre los 11 analizados. Sin embargo, parte de los SE brindados dependen de otros servicios proporcionados por el Monte Nativo.

Los servicios de mayor provisión son los de producción de cultivos, ganadera y forestal, junto con el de recarga de acuíferos. Por otro lado los menos provistos por la cuenca son los de regulación climática y calidad del aire.

Como otra conclusión resaltamos la función del Monte Nativo como proveedor de servicios de provisión de agua y calidad de agua, en la parte alta de la cuenca. Para ofrecer su captación en la parte baja de la misma, importante y necesaria en la producción de otros servicios, como los relacionados con el aprovisionamiento de leña, ganado y alimentos que son brindados por el Agroecosistema.

Esta dinámica de la cuenca, que muestran los mapas de provisión, permite tomar decisiones sobre el uso del recurso agua y del uso del suelo. La impermeabilización de esta zona por futuros emprendimientos urbanos/turísticos generaría un cambio en recarga de acuíferos, lagos y embalses con consecuencias en la provisión del recurso hídrico "aguas abajo". Otro caso podría ser una expansión agrícola con formas de manejo poco amigables con el ambiente o la expansión de la matriz productiva con actividades contaminantes, que alterarían la calidad del agua en la totalidad de la cuenca.

Este trabajo obtuvo conclusiones particulares sobre algunos servicios, como la regulación climática, que no se debería considerar como servicio brindado por el Agroecosistema,

debido a que las actividades agrícolas, desarrolladas en la cuenca, no perjudicarían ni mejorarían la regulación climática como sí ocurre con otros tipos de ecosistemas, por ejemplo los bosques. El incremento en la atmósfera de los gases de efecto invernadero, al que se le atribuye los cambios recientes del clima se encuentra a una escala más global. Los impactos de alteración en la cantidad y distribución estacional de las precipitaciones, si son visibilizados y vivenciados a escala de cuenca perjudicando otros SE.

La otra conclusión particular es que los servicios de calidad del aire y de amortiguación de inundaciones deben contar con la cuantificación de otras funciones ecosistémicas concretamente relacionada a la generación de estos servicios, además de las calculadas en el presente trabajo, ya que la cantidad de funciones seleccionadas se realizó, en parte, en función del alcance de una tesina de grado y de la disponibilidad de datos. Conjuntamente a este hecho, es necesario tomar con cautela los resultados expuestos para estos dos SE, por la complejidad que significa que sea el Agroecosistema el que los provee en mayor medida y que a su vez sea el Agroecosistema el que disminuya su provisión. Estos casos corresponden a: la calidad del aire por la combustión de maquinaria agrícola, la concentración de población y la actividad agroindustrial, y la amortiguación de inundaciones por la modificación de cauces naturales que están realizando mayoritariamente los grandes emprendimientos vitivinícolas.

9. Contribuciones y Perspectivas Futuras

Este estudio exploratorio busca sentar antecedentes del uso de la metodología planteado por el protocolo ECOSER, con la importancia que significa aplicar una metodología creada por argentinos que puede adaptarse al estudio de zonas áridas, evitando la aplicación de modelos, metodologías y marcos conceptuales de otros países con el riesgo de provocar una disyunción entre lo que se investiga y las necesidades reales de la región.

El trabajo contribuye con la incorporación al protocolo de la ecuación de estimación del Factor de Erodabilidad de precipitación (R) anual, encontradas para la región pedemontana del Gran Mendoza (Vichy Mariani. 2010), utilizada en la RUSLE.

Además amplía el conocimiento existente sobre el Monte Nativo, desde el punto de vista de servicios ecosistémicos, que está desarrollándose en la actualidad. Con la capacidad de aportar información para la concientización de las poblaciones que utilizan sus recursos y se benefician con sus bienes y servicios.

También representa una herramienta que puede ayudar en la resolución de problemas, ser soporte en la toma de decisiones para el ordenamiento territorial, uso y manejo de ecosistemas y en la formación de paisaje, para un área en desarrollo como la cuenca del Arroyo Grande.

Sería propicio continuar el estudio, complementándolo con el trabajo de Seltzer (2015), con el objetivo generar mapas de oferta de SE y mejorar el aporte que brinda esta herramienta al momento de tomar decisiones, teniendo en cuenta que los servicios provistos por el Agroecosistema son soportados por SE brindados por el Monte Nativo.

Al mismo tiempo dejamos abiertas otras líneas de investigación como el estudio de los servicios provisionados por humedales de la cuenca; la ampliación del servicio de Amortiguación de Inundaciones, el estudio del servicio de Potencial Recreativo con una metodología de encuestas más acorde a lo que es un servicio cultural y el estudio de un tercer TED al que se hace referencia en los resultados de *“Evaluación la distribución espacial de tipos de ecosistemas dominantes y de variables biofísicas”*.

10. Bibliografía

- Abraham, E. M. 2000. *Geomorfología de la provincia de Mendoza. Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región andina argentina.* Disponible en página web: <http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/catalogo/cdandes/copy.htm#001>
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R.J., and Hackett G. 1987. *DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings.* NWWA/EPA Series, EPA-600/2-87-035.
- Asis A. y Omasa K. 2007. *Estimación del parámetro de vegetación para el modelado de la erosión del suelo utilizando lineal Análisis espectral Mezcla de datos Landsat ETM.* ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 62 (2007) 309–324
- Balvanera P., Castillo A., Lazos Chavero E., Caballero K., Quijas S., Flores A., Galicia C., Martínez L., Saldaña A., Mabel Sánchez M., Maass M., Ávila P., Martínez Y., Galindo L.M. y Sarukhán J. 2011. *Marcos Conceptuales interdisciplinarios para el estudio de los servicios ecosistémicos en América Latina.* Capítulo 2 Pp. 41-67. En: LATERRA, P., JOBBÁGY, E.G. y PARUELO, J.M. 2011. Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina
- Balvanera P., Uriarte M., Almeida-Leñero L., Altesor A., DeClerck F., Gardner T., Hall J., Lara A., LATERRA P., Peña-Claros M., Silva Matos D., L. Vogl A., Romero-Duque L., Arreola L.F., Piedad Caro-Borrero A., Gallego F., Jain M., Little C., Oliveira Xavier R., Paruelo J.M., Peinado J.S., Poorter L., Ascarrunz N., Correa F., Cunha-Santinom M., Hernández-Sánchez A.P. y Vallejos M. 2012. *Ecosystem services research in Latin America: The state of the art- Review article.* Ecosystem Services 2 (2012) 56–70
- Boninsegna J.A., Villalba R., Urrutia R. 2013. *El cambio climático y los servicios del agua en la Cordillera de los Andes.* Pp 263-280. En Lara A., LATERRA P., BARRANTES G. eds 2013 Servicios ecosistémicos hídricos: estudios de caso en América Latina y el Caribe. Valdivia, Chile. Red ProAgua CYTED.
- Cara, L. 2012. *Estudio Geomorfológico del sector central del Departamento de Tupungato, aplicando técnicas geomáticas. Provincia de Mendoza, Argentina.* Trabajo Final para optar al título de Licenciado en Ciencias Geológicas. Universidad Nacional de San Juan. 99p.

- Chambuleyron, J 2002. *Conflictos ambientales en tierras regadías. Evaluación de impactos en la cuenca del río Tunuyán, Mendoza, Argentina*. Mendoza, UNCuyo-Foncyt-INA.
- Costa J.L., Massone H., Suero E., Vidal M. Y Bedmar F. 2002. *Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. Agricultural Water Management*.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, et al. 1997. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. *Nature* 357:253-260.
- Daniele, C. y Natenzon. C. 1994. *Las Regiones Naturales de la Argentina: Caracterización y Diagnóstico*.
- De Groot, RS, R. Alkemade, L. Braat, L. Hein, L. Willemen. 2009. *Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making*. *Ecological Complexity* 7 (2010) 260–272.
- Haines-Young, R. and Potschin, M. 2010. *The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being*, in Raffaelli, D. G. and Frid, C. L. J. (eds) *Ecosystem Ecology: A New Synthesis* (Cambridge: Cambridge University Press/British Ecological Society), pp. 110-139. Available at: http://www.nottingham.ac.uk/CEM/pdf/Haines-Young&Potschin_2010.pdf
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. *Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, capítulo 5, cuadro 5.5 pág 20. Disponible en: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol4.html>
- Lattera P., Nahuelhual L., Barral P. y Carmona A. 2014. *ECOSER: protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial*.
- Lattera, P., Castellarini, F., y Orúe, E. 2011. *Ecoser: Un protocolo para la evaluación biofísica de servicios ecosistémicos y la integración con su valor social*. Capítulo 16 Pp. 359-390 en: Lattera,P., Jobbágy,E.G. y Paruelo,J.M. 2011. Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina
- Lattera, P., Jobbágy, E.G. y Paruelo, J.M. 2011. *Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.

Laterra, P., Orúe, M. E, Zelaya, DK., Booman, G, Cabria, F. 2009. *Jerarquización y mapeo de pastizales según su provisión de servicios ecosistémicos*. En: Pillar, V.D; Müller, S.C.; Castilhos, Z.M. & Jacques, A.V.A. (Eds.) Campos Sulinos. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasilia, pp. 128-136.

Ley Provincial N°8.400/12

Martinis, N., Alvarez, A., Hernández, J., Villalba, J. 2002. *Proyecto: Evaluación hidrogeológica de la cuenca del Valle de Uco*. Tomo 1, 2 y 3. Publicación Interna IT N° 15-CRA. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino. 520pp.

Mastrantonio, L., Perez Valenzuela, B., Maffei, J. Pérez, M., Dágata, S. 2012. *Evaluación de funciones de pedotransferencia en suelos del Valle de Uco, Mendoza*. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2004. *Ecosystems and human well-being: our human planet*. Washington, D.C. Island Press.EE.UU.

MEA.2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis report*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press. Washington, DC.

Nahuelhual L., Laterra P., Carmona A., Burgos N., Jaramillo A., Barral P., Mastrángelo M. y Villarino S. 2013. *Evaluación y Mapeo de servicios ecosistémicos: una revisión y análisis de enfoques metodológicos*. Pp21-38. En Lara A., Laterra P., Barrantes G. eds 2013 Servicios ecosistémicos hídricos: estudios de caso en América Latina y el Caribe. Valdivia, Chile. Red ProAgua CYTED.

Ninan K.N y Inoue M. 2013. *Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't*. Ecological Economics 93. 2013. 137–149

Oddi. J., 2010. *Valoración de las funciones de los humedales y análisis de su vulnerabilidad ante las alteraciones ambientales: Adaptación y aplicación del Protocolo ECOSER en la Región del Delta Inferior del Río Paraná, Argentina*. Tesis de Maestría en Gestión del Agua. Universidad de Buenos Aires.

Paruelo J.M. 2011. *Valoración de servicios ecosistémicos y planificación del uso del territorio ¿es necesario hablar de dinero?* Capítulo 5 Pp. 121-140 en: Laterra,P., Jobbágy,E.G. y Paruelo,J.M. 2011. Valoración de servicios ecosistémicos: conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina.

- Pizzolato, D. 2012. *Reestructuración de los sistemas agroalimentarios y diferenciación social agraria en el Valle de Uco, Mendoza. Implicancias para la extensión Rural. Estrategias y Experiencias para el trabajo en extensión*. Disponible en http://www.aader.org.ar/XV_Jornada/trabajos/espanol/Estrategias_y_experiencias/ensayos/Trabajo%20202%20Completo.pdf
- Pizzolato, D., Costella, L. 2012. *Propuesta metodológica para la construcción de grupos sociales en estudios sociales agrarios. El caso del distrito de Vista Flores, Tunuyán, Mendoza*. Agencia de Extensión Rural INTA La Consulta.
- Pizzolato, D.; Potaschner, P. 2010. *Reestructuración de los sistemas agroalimentarios y diferenciación social agraria en el Valle de Uco, Mendoza*. VIII Congreso Latinoamericano de Sociología Rural, Porto de Galinhas.
- Reed, M.S. 2008. *Stakeholder participation for environmental management: a literature review*. *Biological Conservation* 141:2417-2431.
- Regairaz, M. C. 2000. *Suelos de la provincia de Mendoza. Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región andina argentina*. Disponible en página web :<http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/catalogo/cdandes/copy.htm#001>.
- Renard. K.G, G.R Foster, G.A Weesies, D.K McCool, and D.C Yoder, coordinators. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. U.S Department of Agriculture, Agriculture Handbook No 703, 404 pp.
- Saatsaz, M., Sulaiman, W.N.A., Eslamian, S. and Mohammadi, K. 2011. *GIS DRASTIC model for groundwater vulnerability estimation of Astaneh-Kouchesfahan Plain, Northern Iran*, *Int. J. Water*, Vol. 6, Nos. 1/2, pp.1–14.
- Saxton, KE; WJ Rawls; JS Romberger y RI Papendick. 1986. *Estimating generalized soil-water characteristics from texture*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(4):1031-1036.
- Seltzer H. 2015. *Valoración social de los servicios ecosistémicos del agroecosistema y monte natural por los habitantes de la zona de la cuenca del Arroyo Grande, Tunuyán, Mendoza*. Tesis de Grado en Ing. en Recursos Naturales Renovables. UNCuyo.
- Torres E. y Zambrano J. 2000. *Hidrología de la provincia de Mendoza. Catálogo de recursos humanos e información relacionada con la temática ambiental en la región andina*

argentina, dentro del proyecto *Inventario de Recursos para la Planificación y Gestión de la Región Andina Argentina*. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/ladyot/catalogo/cdandes/cap05.htm>

USDA. 1993. *Soil survey manual Handbook 18*.. Soil Survey Division Staff. Soil Conservation Service. Valdez, C. y Ruiz Luna, A. 2011. Marco Conceptual y Clasificación de los Servicios Ecosistémicos. *Revista Bio ciencias*.. Vol 1. Núm 4. Pág 9.

Valpreda, C.; Gudiño, M.; Villegas, B. 2002. *La evaluación de impacto ambiental y el ordenamiento territorial*. Proyección N°2. Año 2. Vol. 1. ISSN 1852-0006. CIFOT. FFyL. UNCuyo.

Vich, A y A. Mariani. 2010. Evaluación y predicción de la erosión hídrica en regiones áridas de relieve acentuado del centro-oeste de Argentina. *Multequina* vol.19 no.1.

Walkley, A. and Black, I.A., 1934. *An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents*. *Soil Science*, 63: 251-263.

Weyland F. y Laterra P. 2013. *Una propuesta metodológica para el estudio del potencial recreativo a escala de paisaje*. Pp 249-262. En Lara A., Laterra P., Barrantes G. eds 2013 *Servicios ecosistémicos hídricos: estudios de caso en América Latina y el Caribe*. Valdivia, Chile. Red ProAgua CYTED.

Wischmeier, W. y Smith, D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. United States Department of Agriculture, *Agriculture handbook* N°537.58p.

Zhou P., Luukkanen O., Tokola T., Nieminen J. 2008. *Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed*. *Catena* 75 (2008) 319–325.

Zivkovic L., Martinez Carretero E., Dalmaso A. y Almiron M. 2013. *Carbono acumulado en la biomasa vegetal de la reserva de Villavencio (Mendoza-Argentina)*. *Bol. Soc. Argent. Bot.* [Online]. Vol.48, n.3-4 pp. 543-551.