



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN ECONOMÍA

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA ESTIMAR EL VALOR ECONÓMICO Y SOCIAL  
DEL SUELO DESDE UN ENFOQUE ECOSISTÉMICO: CASO DE ESTUDIO  
EJIDOS DE XOCHIMILCO Y SAN GREGORIO ATLAPULCO.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:

Maestro en Economía  
de los Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable

Presenta:

Francisco Almonacid Buenrostro

Dirigido por:

Dr. Daniel Alfredo Revollo Fernández, CONACyT - UAM

Miembros del jurado revisor:

Dr. Alonso Aguilar Ibarra, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM

Mtro. Eduardo Vega López, Facultad de Economía, UNAM

Dra. Silke Cram Heydrich, Instituto de Geografía, UNAM

Mtra. Karina Caballero Güendulain, Posgrado en Economía, UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., enero de 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Posgrado en Economía de la UNAM por los conocimientos brindados durante la maestría.

Asimismo al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado a través del programa de becas nacionales.

Al Doctor Daniel Revollo, mi tutor, por su amistad, por su apoyo constante e incondicional durante este tiempo, por sus recomendaciones, también por su entusiasmo y buen ánimo que en más de un sentido me ayudaron a realizar esta tesis. Gracias por creer en mí, por guiarme y orientarme.

Al Dr. Alonso Aguilar, al Mtro. Eduardo Vega, a la Dra. Silke Cram y a la Mtra. Karina Caballero, miembros del jurado revisor, pues además de ser personas a las que respeto, aprecio y admiro en gran medida, a todos ellos gracias por compartir conmigo su experiencia y conocimiento, su tiempo, sus recomendaciones, sus observaciones, su paciencia, su escucha generosa y todo cuanto se tradujo en un acompañamiento invaluable para que pudiera concluir este trabajo. Me llena de orgullo haberme formado con Ustedes.

Al Doctor Borrayo por compartir la visión de que estudiar al suelo también es un tema de interés para la Economía. A la Doctora Leticia Merino y al Doctor Benjamín García por motivar e inspirar a todos sus alumnos, conocerlos ha sido de las mejores cosas que me sucedieron.

De manera personal también agradezco el constante apoyo de toda mi familia y de mis amigos.

## Índice general

<i>Agradecimientos</i> . . . . .	I
<i>Índice de figuras</i> . . . . .	V
<i>Índice de tablas</i> . . . . .	VII
<i>Siglas y abreviaturas</i> . . . . .	VIII
<i>Resumen</i> . . . . .	IX
<i>Summary</i> . . . . .	X
<i>Introducción</i> . . . . .	XI
<i>1.. Marco analítico para la discusión en torno al valor del suelo</i> . . . . .	1
1.1. El enfoque adoptado. . . . .	1
1.2. Bases para la valoración de servicios ecosistémicos asociados al suelo . . . . .	7
1.2.1. El papel del suelo dentro de la economía . . . . .	7
1.2.2. El marco para analizar servicios ecosistémicos asociados al suelo. . . . .	14
1.2.3. El valor del suelo y las técnicas para estimarlo. . . . .	19
1.3. ¿Por qué asociar los servicios ecosistémicos al suelo? . . . . .	22
<i>2.. Estado del arte sobre el valor del suelo</i> . . . . .	31
2.1. Investigaciones sobre servicios ecosistémicos y suelos. . . . .	31
2.2. Tendencias sobre conservación de suelos. . . . .	35
<i>3.. Aproximación metodológica para estimar el valor del suelo</i> . . . . .	40
Etapa I: Definición y caracterización del área de estudio. . . . .	44
Etapa II: Mapeo de servicios ecosistémicos . . . . .	48
Etapa III: Cuantificación de beneficios. . . . .	61

---

Etapa IV: Identificación de actores relevantes . . . . .	72
Etapa V: Asignación de valor monetario . . . . .	77
Etapa VI: Presentación de resultados. . . . .	87
Etapa VII: Recomendaciones. . . . .	89
4.. <i>Caso de estudio: Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco</i> . . . . .	91
5.. <i>Consideraciones finales</i> . . . . .	114
<i>Bibliografía</i> . . . . .	120
<i>ANEXO I</i> . . . . .	140

## Índice de figuras

1.1. Representación de un sistema socioecológico. . . . .	4
1.2. Curvas de oferta y demanda de servicios ecosistémicos asociados al suelo. . . . .	9
1.3. Caracterización de los tipos de bienes en función de su rivalidad y exclusión. . . . .	11
1.4. Esquematación de cuentas de activos biofísicos y monetarios para contabilizar el valor del suelo. . . . .	13
1.5. Modelo de cascada de los servicios ecosistémicos . . . . .	15
1.6. Servicios ecosistémicos asociados al suelo. . . . .	16
1.7. Componentes del valor económico total del suelo. . . . .	19
1.8. Principales técnicas de valoración monetaria para estimar el valor del suelo. . . . .	21
1.9. Representación de las funciones del suelo. . . . .	24
1.10. Ejemplo de la relación de las propiedades del suelo con la función hidrológica. . . . .	28
2.1. Marcos para analizar servicios ecosistémicos. . . . .	32
3.1. Metodología para estimar el valor del suelo. . . . .	43
3.2. Principales tipos de beneficios derivados de los servicios ecosistémicos. . . . .	61
3.3. Esquema para orientar la cuantificación en términos físicos y monetarios de beneficios provenientes de los servicios ecosistémicos asociados al suelo. . . . .	62
3.4. Categorías para clasificar beneficios provenientes del suelo. . . . .	68
3.5. Clasificación de actores relevantes. . . . .	73
3.6. Caracterización de los actores relevantes en el área de estudio en función de su importancia e influencia. . . . .	74
4.1. Ubicación del área natural protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	92
4.2. Esquematación de una chinampa típicamente usada para la siembra en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	94
4.3. Usos del suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	100

---

4.4. Actores relevantes identificados en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . 105

## Índice de cuadros

1.1. Comparación de conceptos usados en el enfoque ecosistémico que son compatibles con el marco de análisis de los sistemas socioecológicos. . . . .	3
1.2. Subsistemas que conforman un sistema socioecológico. . . . .	6
1.3. Conceptualización del suelo en diferentes escuelas económicas. . . . .	8
1.4. Marco Common International Classification of Ecosystem Services (CICES). . . . .	17
1.5. Funciones del suelo que permiten el suministro de diversos servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales. . . . .	26
1.6. Descripción básica de las propiedades del suelo. . . . .	28
2.1. Estudios que han estimado el valor de los servicios ecosistémicos asociados al suelo. . . . .	34
2.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible y servicios ecosistémicos que contribuyen a lograrlos. . . . .	36
2.3. Ejemplos de tendencias globales en prácticas de manejo de suelos y sus efectos sobre el suministro de servicios ecosistémicos mediados por el agua. . . . .	37
3.1. Criterios para definir y caracterizar al área de estudio. . . . .	45
3.2. Descripción de los servicios ecosistémicos que suministra el suelo. . . . .	49
3.3. Calificación generalizada para el suministro de servicios ecosistémicos en función del tipo de suelo. . . . .	52
3.4. Ejemplos de indicadores para mapear servicios ecosistémicos en función de su estatus y su desempeño. . . . .	54
3.5. Criterios que pueden usarse para mapear servicios ecosistémicos asociados al suelo. . . . .	57
3.6. Ejemplos de beneficios derivados de los distintos servicios ecosistémicos suministrados por el suelo. . . . .	63
3.7. Ejemplos de indicadores para cuantificar los beneficios que el suelo suministra. . . . .	71
3.8. Descripción de distintos tipos de actores en función del uso que hacen del suelo. . . . .	73
3.9. Ejemplos de actores que pueden considerarse en la estimación del valor del suelo. . . . .	76
3.10. Técnicas de valoración aplicables a los diferentes servicios ecosistémicos. . . . .	77

---

3.11. Técnicas de valoración aplicables en función del tipo de mercado en el que se comercializan. . . . .	78
3.12. Relación de los servicios ecosistémicos con los distintos componentes del valor económico total. . . . .	79
3.13. Descripción de las principales técnicas para estimar el valor del suelo. . . . .	80
3.14. Formato para la presentación de resultados. . . . .	87
3.15. Acciones recomendadas sobre la gestión de suelos para cada grupo de actores. . . .	89
4.1. Criterios para realizar la caracterización del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	96
4.2. Calificación generalizada para el suministro de servicios ecosistémicos para el suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	99
4.3. Zonificación en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	100
4.4. Mapeo de servicios ecosistémicos asociados al suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	101
4.5. Beneficios derivados de los servicios ecosistémicos mapeados en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	102
4.6. Indicadores para estimar el valor de los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos suministrados por el suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	104
4.7. Identificación de actores relevantes en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	106
4.8. Técnicas de valoración aplicables al suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	107
4.9. Relación de los servicios ecosistémicos con los distintos componentes del valor total del suelo. . . . .	107
4.10. Valor del suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. . . . .	110
4.11. Formato para la presentación de resultados. . . . .	111

## SIGLAS Y ABREVIATURAS

ANP	Área natural protegida
CICES	Common International Classification of Ecosystem Services
CN	Capital natural
CSE	Cascada de servicios ecosistémicos
DAP	Disposición a pagar
EE	Economía ecológica
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GEI	Gases de efecto invernadero
MEA	Millennium Ecosystem Assessment
ODS	Objetivos del Desarrollo Sostenible
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
RUC	Recursos de uso común
SE	Servicios ecosistémicos
SSE	Sistema socioecológico
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
WRB	World Reference Base

## RESUMEN

La presente investigación analizó cómo aproximarse a la estimación del valor del suelo y derivó en proponer una ruta metodológica para tal efecto. Esto ante la ausencia de un marco de análisis adecuado que permita estimar su valor, replantear su importancia desde la perspectiva económica e integrarlo en el diseño de políticas orientadas a promover su conservación y prevenir la degradación de este recurso. La propuesta se articuló dentro del enfoque ecosistémico y consta de siete etapas, en la primera se realizó la definición y caracterización del área de estudio para determinar las condiciones del suelo, su cobertura, el uso que se le da y su manejo, la segunda etapa consistió en mapear los servicios ecosistémicos relacionándolos con la información del suelo en el área de estudio, en la tercer etapa se cuantificaron los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos en cuestión, en la cuarta etapa se identificaron los actores que son relevantes con relación a los beneficios que obtienen de los servicios ecosistémicos mapeados, en la quinta etapa se asignó valor a dichos beneficios, la sexta etapa se relaciona con la manera en que se presentaron las estimaciones realizadas, finalmente en la séptima etapa se formularon recomendaciones a partir de la información generada. Dicha propuesta se instrumentó como caso de estudio piloto y a manera de ejemplo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco para observar la viabilidad y factibilidad de la misma. Se demostró conceptualmente que la identificación, cuantificación y eventual asignación de valor a los servicios ecosistémicos asociados al suelo es sumamente relevante, ya que por lo general no todos son visibles para los usuarios del suelo o incluso para los tomadores de decisiones. Por consiguiente reconocer su valor así como su importancia son un asunto de interés público por la variedad de efectos que genera a diversas escalas y que inciden en el bienestar de las personas.

Conceptos clave: servicios ecosistémicos, calidad del suelo, degradación del suelo, sistema socio-ecológico, valoración económica, economía del suelo.

## SUMMARY

This thesis analyzed how to estimate the value of soil and derived in proposing a methodological route for this purpose. Due to the lack of an adequate analysis framework to estimate its value, rethink its importance from the economic perspective and integrate it into the design of policies aimed at promoting its conservation and therefore preventing its degradation. The proposal was made within the ecosystem approach and consists of seven steps. In the first, the area was characterized to determine soil conditions, soil cover, its use and management. In the second, ecosystem services were mapped with the type of soil in the area. In the third, the benefits derived from ecosystem services were quantified. In the fourth, stakeholders were identified in relation to the benefits obtained from the ecosystem services mapped. In the fifth, the quantified benefits are valued. In the sixth, the results obtained were presented. Finally, in the seventh, recommendations were made based on the information generated. This proposal was implemented as a tentative study in Ejidos de Xochimilco and San Gregorio Atlapulco to observe its feasibility. Furthermore, it was conceptually demonstrated that the identification, quantification and valuation of ecosystem services derived from the soil is extremely important, since not all of them are generally visible to soil users or decision makers. Therefore, recognizing their value as well as their importance are a matter of public interest because of the variety of effects that it generates at different scales and that affect the welfare of people.

Keywords: ecosystem services, soil quality, soil degradation, social-ecological system, economic valuation, soil economics.

## INTRODUCCIÓN

Como punto de partida es necesario mencionar algunos aspectos relevantes sobre el suelo<sup>1</sup>, los cuales se deben subrayar de manera suficiente, en primer lugar el suelo forma parte de un stock de capital natural crítico, es un recurso no renovable [16, 58] y hasta ahora no tiene sustitutos, por lo que su degradación repercute a distintas escalas con diversas implicaciones ecológicas, sociales y económicas [46, 130, 159, 105], adicional a que su pérdida es irreversible.

En segundo lugar el suelo es el soporte material del desarrollo, constituye la base de todas las actividades humanas [77], por lo que se considera un determinante de la situación económica de las naciones [46]. En ese sentido la importancia económica de este recurso radica en que es uno de los principales insumos de la producción [134, 78], y frecuentemente es usado para simular funciones de producción  $f(\cdot) = g(K, L)$ . Por lo que el uso que se le da y la gestión sobre él son un tema de interés público y es esencial incluirlo en los análisis de servicios ecosistémicos, así como también lo es generar marcos que partan de razonamientos lógicos basados en evidencia empírica para estimar su valor que sirvan de base para la toma de decisiones y para diseñar las políticas ambientales necesarias para la conservación de los suelos.

En tercer lugar realiza funciones que tienen implicaciones económicas directas [16, 65, 2, 79], la capacidad para realizar tales funciones está determinada por su calidad, que a su vez permite mantener la calidad ambiental (aire, agua) y la productividad tanto económica como biológica; además de mantener la salud de los seres vivos, señalado de manera enfática la de los humanos [59, 103, 102, 17]. Por lo tanto debe reconocerse que es un elemento central que proporciona a los seres humanos beneficios múltiples que pueden ser directos o indirectos, privados o sociales, *in situ* u *off situ*.

---

<sup>1</sup> Se utiliza el término suelo solo para hacer manejable el concepto pero no se omite la amplia diversidad edáfica que existe a nivel mundial. Algunos autores sugieren que se debe usar el término tierra y no suelo, sin embargo dentro del enfoque ecosistémico emplear el término suelo puede considerarse equivalente a tierra, este enfoque ofrece la ventaja de analizarlo como un activo de capital natural independiente o bien desde un enfoque integrado como parte de un conjunto de activos combinados para suministrar servicios ecosistémicos. Por otra parte tampoco se omite que para que tenga lugar el suministro de servicios ecosistémicos se requiere, además del suelo, de otros factores ambientales.

En ese orden de ideas la FAO [65], señala que la calidad del suelo es variable ya que depende de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por lo tanto, puede deteriorarse disminuyendo su capacidad funcional; a lo que se denomina degradación del suelo y generalmente se entiende como disminución o empeoramiento de la calidad de este recurso provocado en gran medida por la intervención del hombre, lo que eventualmente puede traducirse en la pérdida parcial o total de una o más de sus funciones [77], por lo que la búsqueda de sustitutos generaría serios impactos económicos. Por ejemplo la pérdida de rendimientos agrícolas y el aumento de los costos de producción [44].

### *Problema de investigación*

Durante mucho tiempo ha prevalecido una visión estereotipada y falsa acerca del suelo, considerándolo como un simple medio para la producción agrícola. Actualmente está pobremente representado en los procesos de toma de decisión sobre la gestión de recursos naturales [58], ya que no se percibe al suelo como un activo ambiental valioso, lo que ocasiona que se incurra en prácticas de uso, manejo y gestión que le degradan. Y dado que la degradación del suelo ocurre debido a factores biofísicos, socio-económicos y políticos, estos problemas son, por definición, específicos de cada lugar y se producen a diferentes escalas, esto hace necesario restaurar los suelos degradados y evitar que continúe ese deterioro puesto que la demanda de acceso a suelos productivos está aumentando [175].

No obstante lo anterior, de manera puntual para el caso de México hay que decir que no se están reflejando las consecuencias de la pérdida de fertilidad de los suelos y de su erosión [44]. Se sabe que más del 40 % de la superficie del país presentaba algún grado de degradación. Entre las principales causas de degradación se identificaron el cambio de uso del suelo para fines agrícolas y el sobrepastoreo con 17.5 % para cada uno de estos factores, la deforestación representó el 7.4 % y la urbanización el 1.5 %. Hasta ahora no se cuenta con una política de conservación de suelos.

Aun cuando la pérdida de calidad del suelo es un problema agudo que constituye uno de los mayores riesgos ambientales [31], y como tal un fenómeno sumamente relevante, ha sido poco el espacio teórico-conceptual y metodológico dedicado a explicarlo [41], tan es así que actualmente no existen criterios formales o estandarizados de aceptación y aplicación general para su estudio. A pesar de ello los científicos que estudian al suelo comienzan a reconocer la importancia de incorporar el concepto de SE para la prevención y mitigación del deterioro de su calidad [18].

Ante el estatus actual de calidad del suelo, y a pesar de que tampoco hay consenso sobre un marco general para identificar, clasificar, cuantificar y asignar valor a los beneficios que el suelo

suministra [98], lo cierto es que se requiere comenzar a realizar propuestas al respecto, llevar a cabo esta tarea permitiría reconocer plena y explícitamente los beneficios que aporta, otorgando valor a cada uno de ellos, lo cual sirva de base para la toma de decisiones con respecto a su uso y gestión. Además aportaría información sobre las múltiples funciones que realiza y su rendimiento, que lo revelan como un activo de valor considerable.

El suelo debe estudiarse como problema complejo y desde el enfoque ecosistémico que permite reconocer la importancia económica de las funciones que realiza tanto como un recurso independiente o como parte de un conjunto de activos ambientales que se combinan para suministrar servicios ecosistémicos [156, 58], de tal modo que se reconozca su valor y que pueda integrarse en los sistemas de contabilidad ambiental.

### *Justificación*

Por todo lo anterior realizar una investigación sobre el valor del suelo resulta útil para comprender su relevancia económica, social y ecológica; principalmente porque es determinante para la seguridad alimentaria, la adaptación al cambio climático y el combate a la pobreza, solo por mencionar algunos temas críticos que forman parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas [104].

La presente investigación intenta contribuir al debate teórico y metodológico, toda vez que como se mencionó, no existe un marco de análisis adecuado para estimar el valor del suelo [98], que aporte métodos operativos para establecer un vínculo entre las funciones del suelo y los SE o para cuantificar en qué medida el suelo contribuye al suministro de los mismos [79], mucho menos para determinar y estimar el valor de los beneficios que el suelo aporta. Razón por la cual debe entenderse cómo el funcionamiento ecosistémico afecta al bienestar humano, para poder atender a la necesidad de generar estimaciones que reflejen el valor funcional de los ecosistemas además de su valor económico. El suministro (disponibilidad) de los SE asociados al suelo, frecuentemente se considera como dado y garantizado, y solo cuando estos se ven afectados por actividades antrópicas (que los degradan o agotan) se repara en su existencia, se toma conciencia de lo importantes que son y en el mejor de los casos se discute sobre su valor, ante el panorama descrito sobre el suelo, es muy pertinente estudiar su valor, de ese modo la implementación de instrumentos como la valoración económica permiten orientar la asignación de valor cuando no hay precios visibles, ya de los mercados se expresan en precios dados por factores diversos.

### *Pregunta de investigación*

De este modo surge como interrogante principal saber *¿cuál es el valor del suelo?* lo que interesa investigar es cómo estimar su valor de tal modo que refleje la importancia económica de las funciones que realiza, y qué beneficios se derivan de los servicios ecosistémicos que se asocian a este recurso. Esta pregunta de investigación abre la posibilidad de retomar el puente teórico entre la economía y la ecología, y de explorar la incorporación a las estimaciones de valor monetario el componente biofísico donde se generan los flujos ecosistémicos provenientes del suelo, derivando en la creación de una metodología para tal efecto.

### *Hipótesis*

A manera de respuesta *a priori*, la hipótesis de investigación que se propone es la siguiente: en tanto que el suelo aporta beneficios derivados del suministro de servicios ecosistémicos que repercuten en el nivel de bienestar social, y en actividades económicas de alcance más amplio así como en la sostenibilidad de los ecosistemas; por lo tanto el valor de este recurso debe asignarse en correspondencia a los beneficios que genera. El elemento a verificar es la coincidencia entre el valor del suelo y las funciones que realiza medidas a través del suministro de beneficios derivados de servicios ecosistémicos específicos.

### *Objetivos de investigación*

Por lo que se plantea como objetivo general de investigación:

- Adaptar un marco para analizar cómo se estima el valor del suelo.

Teniendo como objetivos particulares:

1. Caracterizar los servicios ecosistémicos que el suelo suministra.
2. Mostrar cómo se estima el valor económico y social del suelo.
3. Identificar la información que se requiere para llevar a cabo un estudio sobre el valor del suelo.
4. Desarrollar una propuesta metodológica para estimar el valor del suelo, aplicándolo a un estudio de caso piloto.

### *Propósito de la tesis*

El propósito central es generar una propuesta metodológica que permita identificar, categorizar y sistematizar los datos que permitan asignar valor al suelo, el cual integre las funciones que este realiza, para que sea plenamente consistente con el tipo de beneficios que se generan y los actores relacionados; de modo que los resultados contribuyan al debate teórico y analítico; y a la obtención de información relevante y útil para dar cuenta de la importancia del suelo, y que sirva de apoyo para la toma de decisiones sobre su uso y gestión.

### *Conceptos clave*

Para cumplir con los objetivos y concretar el propósito de esta investigación se definen los siguientes conceptos clave en torno a los cuales se articulan los argumentos que permiten la construcción metodológica que esta tesis propone, los cuales son:

- *Calidad del suelo*: la definición más simple menciona que es *la capacidad (del suelo) para funcionar*. Una versión ampliada de esta definición presenta a la calidad del suelo como *la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de límites de ecosistemas naturales o manejados, para sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire y apoyar la salud humana y la vivienda* [103].
- *Salud del suelo*: se entiende como la capacidad continua del suelo para funcionar como *un sistema vivo*, dentro de los límites del ecosistema y del uso de la tierra, para mantener la productividad biológica, promover la calidad del aire y el agua, y mantener la salud vegetal, animal y humana [139]. La principal diferencia entre calidad y salud del suelo es que el segundo concepto permite considerar al suelo como un organismo dinámico viviente (en función de la biota que en él habita) que funciona de forma holística de acuerdo a su estado o condición más que como un objeto inanimado cuyo valor depende de sus características innatas y uso previsto.
- *Degradación del suelo*: se entiende como la disminución a largo plazo de su calidad, es decir, la disminución de la productividad actual o futura del suelo, así como su capacidad moderadora del medio ambiente [17, 103].
- *Servicios ecosistémicos*: la definición que se asume en este trabajo señala que son *la contribución directa e indirecta de los ecosistemas al bienestar humano*; bajo este enfoque los SE de

contribución directa son llamados servicios finales, en contraste los de contribución indirecta son denominados servicios intermedios [68].

- Valoración económica: se trata del proceso de expresar el valor de un bien o servicio particular en un cierto contexto, en el contexto de esta investigación se entiende expresar unidades biofísicas en unidades, monetarias, si bien usualmente el valor se asigna en términos monetarios en algunos casos es válido a través de métodos y medidas de otras disciplinas como la sociología, la ecología, entre otras [108].
- Sistema socioecológico (SSE): se entiende como un sistema social integrado o acoplado a un sistema ecológico que a su vez forman un conjunto inseparable, cuyas relaciones e interacciones recíprocas entre los componentes y subsistemas guían la evolución del SSE como un todo [32].
- Economía del suelo: en tanto que no existe una definición formal y ante la necesidad de reconocer la importancia económica del suelo, en esta investigación se asume que es la parte de la economía que aborda el estudio del suelo considerando los procesos tanto de calidad, salud, seguridad y cambio de este recurso que generan impactos en los costos de producción, tienen implicaciones en la competencia industrial, así como las cuestiones reglamentarias e incentivos respecto a su uso, manejo, gestión y gobernanza. Asimismo, analiza desde la perspectiva económica sus funciones, así como los servicios ecosistémicos que se le asocian y los beneficios que de ellos derivan, y por ende los clasifica en función del tipo de bien que representan. Esto con la finalidad de que el suelo sea considerado como un activo ambiental cuyo valor que debe reconocerse e incorporarlo en los sistemas de cuentas económicas y ambientales.

Finalmente la investigación se organiza en cinco breves capítulos, el primero de ellos presenta los elementos teóricos y conceptuales que permiten analizar el valor del suelo, el segundo capítulo expone el estado del arte sobre investigaciones relacionadas al suelo y servicios ecosistémicos, así como las tendencias sobre conservación de suelos todo esto con la finalidad de tener un panorama de cómo se ha abordado su valor, en el tercer capítulo se detalla cada una de las etapas que integra la aproximación metodológica que propone esta investigación, en el capítulo cuarto se presenta, con fines ilustrativos, la implementación de la metodología propuesta, tomando como caso de estudio piloto el área natural protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. Por último en el quinto capítulo se presentan, a modo de discusión y conclusiones, algunas consideraciones finales hechas a partir de la revisión de la información disponible.

## 1. MARCO ANALÍTICO PARA LA DISCUSIÓN EN TORNO AL VALOR DEL SUELO

A lo largo de este capítulo se presentan los elementos teóricos y conceptuales que permiten estimar el valor del suelo, por principio se describe el enfoque adoptado en esta investigación resaltando algunas particularidades que refuerzan su uso dentro de investigaciones económicas; a continuación se presentan las bases teóricas que establecen cómo asignar valor monetario a los beneficios que el suelo aporta, partiendo de (i) el papel del suelo dentro de la economía y la postura desde la que se aborda para estimar su valor, (ii) el marco de análisis de servicios ecosistémicos que más se adecua al suelo y que por lo tanto permita definir y caracterizar los servicios ecosistémicos que se asocian a este recurso, y (iii) el valor del suelo y las técnicas de valoración económica que pueden emplearse en cada caso. Finalmente se explora el por qué se asocian al suelo los servicios ecosistémicos describiendo los aspectos que determinan el suministro de los mismos.

### 1.1. *El enfoque adoptado.*

Retomando la noción de que el suelo es un recurso no renovable [16], y que no tiene sustitutos, es evidente que para su análisis se requiere un enfoque que no considere la sustitución del capital natural [141], por lo tanto ni la economía ambiental ni la economía de recursos naturales satisfacen esa condición [76]. Adicional a que invariablemente se debe incluir la naturaleza ecológica del suelo para comprender el suministro de servicios ecosistémicos. Razón por la que en esta investigación se adopta el enfoque ecosistémico el cual definido por el Convenio sobre la Diversidad Biológica es *una estrategia para el ordenamiento integrado de las tierras, el agua y los recursos vivos que fomenta su conservación y uso sostenible de forma equitativa*. A groso modo se fundamenta en niveles de organización biológica que comprenden los procesos, funciones e interacciones esenciales entre los organismos y su entorno. Admite que los seres humanos son un componente integral de los ecosistemas [162].

Este enfoque surge de la economía ecológica (EE), e integra al concepto de capital natural y al de servicios ecosistémicos [58], por lo que ofrece la posibilidad de valorarlo tanto como un recurso independiente o como parte de un conjunto de componentes integrados para suministrar



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

servicios ecosistémicos [156], que incluye desde provisión de biomasa y producción de alimentos, mantenimiento de la biodiversidad tanto al interior del suelo como sobre este recurso, secuestro de carbono y nutrientes, filtración y almacenamiento de agua, paisaje y acervos, hasta ser fuente de materias primas [74], así como servicios culturales.

El enfoque ecosistémico es ampliamente usado por las múltiples ventajas que aporta para enumerar y cuantificar las formas en que los seres humanos se benefician de los ecosistemas [84]. Mostrando el grado tan alto en que la sociedad depende de ellos [29], vinculando el papel de los SE y los medios de subsistencia de las comunidades con el desarrollo económico territorial del área que sea estudiada; específicamente mostrando que el suelo es la base material que permite que se lleve a cabo el desarrollo técnico, industrial y socioeconómico [16].

Ha sido promovido por algunas organizaciones internacionales (e.g. FAO, OCDE, PNUMA) para el desarrollo de políticas ambientales [155, 67]. En particular porque las políticas de uso del suelo requieren fomentar procedimientos de ordenamiento del territorio que impulsen no solo las nuevas áreas urbanas y la infraestructura de transporte, sino también tener en cuenta aspectos ecológicos tales como el suministro de SE esenciales [79]. La incorporación del capital natural y los SE en la toma de decisiones y en las políticas públicas requiere una mejor comprensión de los complejos procesos de toma de decisiones del sector privado y público a través de diferentes niveles políticos, así como una mayor comprensión de las funciones de producción de los servicios ecosistémicos que son esenciales para vincular el capital natural con el bienestar humano y la sociedad [118]. Ciertamente como parte de la planificación del territorio (y los usos que se le dan), identificar los procesos ecosistémicos resulta un punto clave de cara a evaluar compromisos en el nivel de suministro de SE [158].

Así, reconoce la importancia de administrar los ecosistemas en un contexto socioeconómico para mantener los SE y que la conservación de los recursos debe ser equilibrada con su uso [155]. Más aún este enfoque permite no solo considerar sino incorporar la naturaleza ecológica de los servicios ecosistémicos [68], en lo que respecta al suelo esta cuestión resulta fundamental para estimar su valor.

Teniendo definido el enfoque, como en toda investigación, es necesario un marco de análisis que permita articular múltiples elementos para estimar el valor del suelo, en particular el marco de los sistemas socioecológicos (SSE) resulta ser una opción viable, concretamente porque diversas teorías convergen y son compatibles con él, e.g., teoría de juegos, teoría de costos de transacción, teoría de elección social, teoría del pacto y teorías de bienes públicos y recursos de uso común (RUC) [125],

permitiendo incorporar los elementos que se requieren para el análisis.

El marco SSE en un principio se diseñó para ser aplicado en el dominio relativamente bien definido de situaciones de gestión de RUC en las que los usuarios extraen unidades de recursos de un sistema de recursos, sin embargo, muchos sistemas socioecológicos también generan bienes y servicios públicos, especialmente servicios ecosistémicos de los que dependen muchos mercados para su funcionamiento continuo [125], sin duda tal como ocurre en el caso del suelo.

La tabla 1.1 presenta a los elementos que integran a los conceptos de CN y al de SE que pueden ser compatibles y comparables con dos de los componentes principales de un sistema socioecológico, el sistema de recursos y las unidades de recursos. Esto puede tener la interpretación de que el enfoque ecosistémico estaría homologado y acoplado para usarse en conjunto con el marco SSE.

Tab. 1.1: Comparación de conceptos usados en el enfoque ecosistémico que son compatibles con el marco de análisis de los sistemas socioecológicos.

<i>Capital natural (CN)</i>	<i>Servicios ecosistémicos (SE)</i>	<i>Sistemas socioecológicos (SSE)</i>
Stock de capital natural	Servicios intermedios (o de soporte)	Sistema de recursos
Flujo de capital natural	Servicios finales (de provisión, regulación y culturales)	Unidades de recursos
	Beneficios	

FUENTE: elaboración propia.

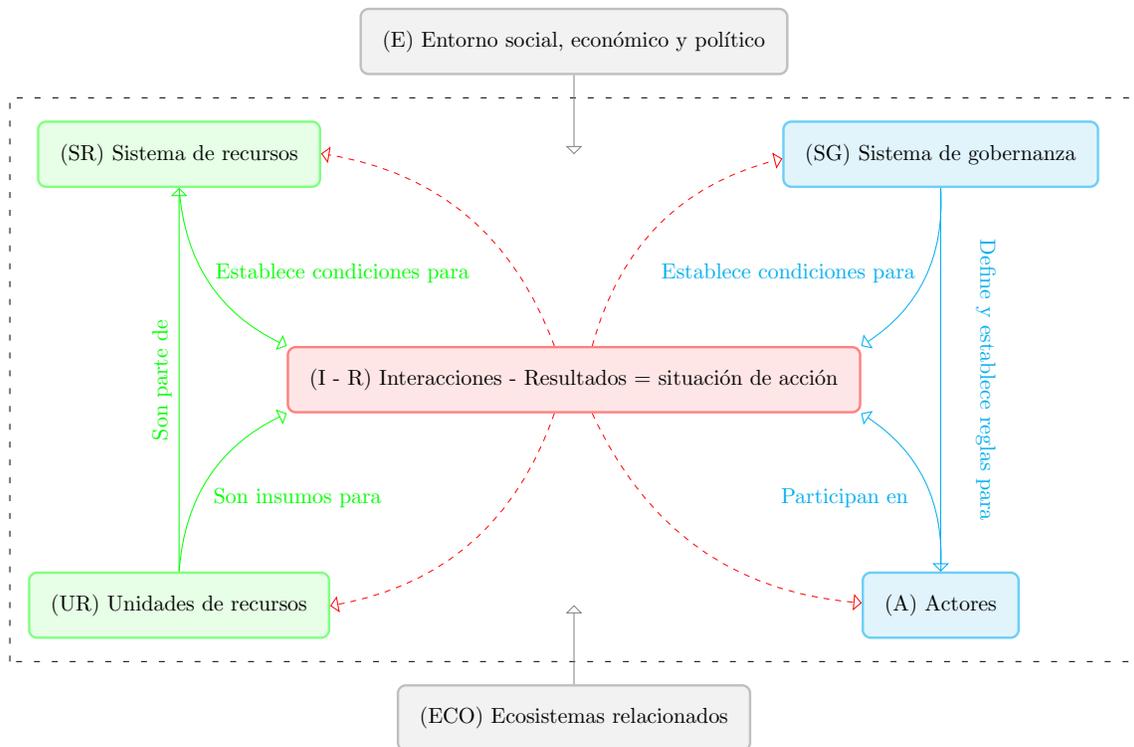
Por otro lado, la figura 1.1 muestra lo múltiples componentes de los que consta un SSE. Se trata de una representación actualizada del trabajo de Ostrom [135, 136, 137, 125]. Las cajas sólidas de color verde y azul indican las categorías de variables primarias (SR, UR, SG y A), que a su vez contienen múltiples variables secundarias (la tabla 1.2 presenta una lista también actualizada de variables secundarias dentro de cada uno de los niveles primarios).

Como parte de la actualización mencionada se incorpora el concepto de situación de acción, para designar que ahí tienen lugar todas las interacciones (I) a medida que los insumos son transformados por las acciones de múltiples actores (A) en resultados (R). Las flechas punteadas indican la retroalimentación de la(s) situación(es) de acción a cada una de las categorías de nivel superior. La línea punteada y discontinua que rodea a los elementos interiores de la figura indica que un SSE puede considerarse como un todo lógico, expuesto a la influencia exógena de los sistemas ecológicos relacionados (ECO), o del entorno social, económico o político (E) que pueden afectar a cualquier componente del SSE. Estas influencias exógenas podrían surgir de la operación dinámica

de procesos a escalas más grandes o más pequeñas que la del SSE.

El concepto de situación de acción denota que los actores en cada una de sus correspondientes posiciones hacen elecciones entre las opciones disponibles a la luz de la información sobre las acciones probables de otros participantes y los beneficios y costos de los resultados potenciales. Las versiones iniciales del marco SSE [135, 136], incorporaron implícitamente la situación de acción dentro de la caja etiquetada como interacciones (I) y resultados (R). La retroalimentación inicial sobre estas versiones del marco del SSE sugirió que la situación de la acción debía ser indicada explícitamente en la figura básica de modo similar a como el marco IAD atribuye importancia este concepto.

Fig. 1.1: Representación de un sistema socioecológico.



FUENTE: adaptado de McGinnis & Ostrom, 2014 [125].

Cabe señalar que el marco SSE no es una teoría o un modelo, es un marco teórico-metodológico que propone que se incorporen teorías que sirvan para guiar la selección del énfasis analítico en torno a problemas relacionados con el uso y manejo sostenible de sistemas y recursos naturales (en este caso del suelo); aun cuando ninguna perspectiva teórica resulta suficiente para analizar el conjunto del sistema. Este marco ha buscado ser teóricamente neutral de modo que hipótesis rivales, formuladas desde distintas perspectivas teóricas puedan ser evaluadas desde un marco común. Aunque ningún marco puede ser completamente neutral en términos conceptuales [136], el marco

de SSE permite incorporar los elementos de teoría económica aplicados a los servicios ecosistémicos asociados al suelo, así como aquellos elementos pertinentes que determinan o limitan el suministro de los mismos, los factores que pueden producir cambios en él y los impactos que estos cambios generan; esto debido a que el SSE representa un sistema acoplado integrado por diferentes subsistemas [136].

Específicamente, este marco ayuda a orientar la atención a (i) las reglas en uso, y no solo las reglas formales escritas; (ii) la naturaleza biológica, química y física subyacente del recurso bajo consideración, así como sus características en términos de ser un recurso privado, público, de peaje/club o RUC, y (iii) los atributos más relevantes de la comunidad, e.g. las normas compartidas de reciprocidad [125].

Finalmente, de manera similar a Delgado-Serrano & Ramos, 2015 [54], se considera que el SSE se ve afectado y puede afectar al entorno/contexto social económico y político (E) más amplio en el que está integrado, debido a las estrategias de gestión del suelo diseñadas en diferentes niveles, y describe cómo los aspectos administrados a escalas más grandes impactan en el suelo.

El suelo es un componente del sistema de recursos (SR), que puede considerarse equivalente a un ecosistema, en el que el tamaño del territorio específico que comprende depende de la escala, y puede ser un bosque, humedal, pesquería, etc., describe las condiciones ambientales donde se ubican o producen los recursos. Debe entenderse entonces que las unidades de recursos (UR) son los servicios ecosistémicos finales y sus beneficios derivados que son extraídas de él en la situación de acción, las unidades de recursos son generadas en o por el sistema de recursos, dichas unidades puede ser cuantificables/manejables (e.g. peces, agua, madera) o necesitar aproximaciones para ser medidas (e.g. biodiversidad). De los cuales los actores (A) principalmente los usuarios y beneficiarios se apropian directa o indirectamente; al mismo algunos de estos actores afectan o son afectados por el sistema de recursos.

Por supuesto dicha apropiación ocurre bajo un sistema de gobernanza (SG), i. e. los procesos a través de los cuales se definen, toman, implementan, reforman y refuerzan las reglas y las decisiones sobre la gestión, uso y manejo del suelo, además se incluye al gobierno y otras organizaciones que intervienen en el manejo de los suelos.

Las relaciones dadas entre estos componentes son entendidas como interacciones (I), que generan ciertos resultados (R) para varios tipos de actores a distintos niveles; que permiten explicar y evaluar los resultados de los procesos de interacción dinámica entre diferentes subsistemas y las interrelaciones e influencias en el SSE, que en ocasiones generan efectos en SSE relacionados (ECO), describiendo la conexión entre estos y el entorno.

Tab. 1.2: Subsistemas que conforman un sistema socioecológico.

<i>(SR) SISTEMA DE RECURSOS:</i>	<i>(SG) SISTEMA DE GOBERNANZA:</i>
SR1 Sector (e.g. humedal, bosques, pastizal, pesquería)	SG1 Organizaciones de gobierno
SR2 Claridad de los límites del sistema	SG2 Organizaciones no gubernamentales
SR3 Tamaño del sistema de recursos	SG3 Estructura de la red
SR4 Instalaciones construidas por humanos	SG4 Sistemas de propiedad (regímenes/derechos)
SR5 Productividad del sistema	SG5 Reglas de elección operativa
SR6 Propiedades de equilibrio/resiliencia	SG6 Reglas de elección colectiva
SR7 Predictibilidad de la dinámica del sistema	SG7 Reglas constitucionales
SR8 Características de almacenaje	SG8 Reglas de monitoreo y sanción
SR9 Ubicación	
<i>(UR) UNIDADES DE RECURSOS:</i>	<i>(A) ACTORES:</i>
UR1 Movilidad de las unidades de recursos	A1 Diversidad y cantidad de actores
UR2 Tasa de crecimiento o reemplazo	A2 Atributos socio-económicos
UR3 Interacción entre unidades de recursos	A3 Historia o experiencia de apropiación
UR4 Valor económico	A4 Ubicación
UR5 Número de unidades	A5 Liderazgo/agencia
UR6 Marcas distintivas	A6 Normas (confianza-reciprocidad)/capital social
UR7 Distribución espacio-temporal	A7 Conocimiento del SSE/modelos mentales
	A8 Dependencia de los recursos
	A9 Tecnología en uso
<i>(I) INTERACCIONES:</i>	<i>(R) RESULTADOS:</i>
I1 Cosecha por parte de diversos usuarios	R1 Medidas de desempeño social
I2 Intercambio de información entre usuarios	R2 Medidas de desempeño ecológico
I3 Procesos de deliberación	R3 Externalidades hacia otros SSE
I4 Conflictos entre los usuarios	
I5 Actividades colectivas de inversión	
I6 Actividades colectivas de cabildeo	
I7 Actividades de auto-organización	
I8 Actividades de redes	
I9 Actividades de monitoreo	
I10 Actividades de evaluación	
<i>(ECO) ECOSISTEMAS RELACIONADOS:</i>	<i>(E) ENTORNO SOCIAL, ECONÓMICO Y POLÍTICO:</i>
ECO1 Patrones climáticos	S1 Desarrollo Económico
ECO2 Patrones de contaminación	S2 Tendencias demográficas
ECO3 Flujos dentro y fuera del SSE	S3 Estabilidad política
	S4 Otros sistemas de gobierno
	S5 Mercados
	S6 Medios de organización
	S7 Tecnología

## 1.2. Bases para la valoración de servicios ecosistémicos asociados al suelo

### 1.2.1. El papel del suelo dentro de la economía

Dentro de la visión económica clásica, entre otras cosas, se ha conceptualizado al suelo (como parte del factor Tierra) junto con el capital y el trabajo como factores básicos de la producción. Principalmente haciendo referencia a la capacidad que tiene este para proporcionar recursos alimenticios que sirvan de soporte para poblaciones humanas. Los fisiócratas lo percibían como garantía de riqueza. Adam Smith fue quien lo incluyó como uno de los factores que se combinan para generar producción. Thomas Malthus teorizó respecto a la utilización del suelo y su degradación, y argumentó que el crecimiento poblacional y el crecimiento económico finalmente se restringen a la escasez de suelo fértil <sup>1</sup>. El suelo conforma, literalmente, la base de todas las actividades económicas [77].

Aunque sin duda la teoría de la renta diferencial de la tierra de David Ricardo significa uno de los mayores aportes teóricos en lo que respecta al suelo, ya que menciona que ante aumentos poblacionales de manera similar incrementa la demanda de alimentos y por consiguiente cada vez se van cultivando tierras menos fértiles. La tesis que mantiene es que la renta de la tierra es debida a la diferente fertilidad de la misma y a la ley de los rendimientos decrecientes. No obstante la teoría de la renta de la tierra en una tradición de economía política muestra un grado mucho más alto de diversidad y heterogeneidad entre diferentes enfoques [97]; en todo caso y bajo el planteamiento de esta investigación se asume que los marcos basados en el concepto de tierra (*land*) están soportados en la conexión de las funciones del suelo con los servicios/beneficios que aporta, por supuesto bajo un uso y manejo específicos de la tierra [57, e.g]

Lo cierto es que la conceptualización sobre el suelo ha cambiado a lo largo del tiempo y su importancia dentro del ámbito económico ha disminuido, como lo muestra la tabla 1.3 en la que se aprecia que el suelo pasó de formar parte de los factores requeridos para producir a ser considerado como capital sustituible dentro de la visión neoclásica de la economía, prueba de ello es que debido a que la importancia económica del sector primario ha disminuido en términos relativos la importancia del suelo también ya que es considerado únicamente como factor de producción agrícola ignorando el resto de las funciones que realiza [44], asumiendo que son sustituibles.

---

<sup>1</sup> Tiempo después observó su escasez innata como la garantía de una eventual catástrofe frente al crecimiento exponencial de la población.

Tab. 1.3: Conceptualización del suelo en diferentes escuelas económicas.

<i>Escuela</i>	<i>Concepción de valor del suelo</i>	<i>Relación valor/suelo</i>
Clásica	Como factor de la producción generador de renta (ingresos)	Teoría del trabajo (valor intercambiable). Beneficios del suelo como valores de uso.
Neoclásica	Suelo eliminado de la función de producción	Suelo sustituible/producibile por el capital, y por lo tanto monetizable.
Economía ambiental y de recursos naturales	Capital natural sustituible por capital creado.	Beneficios derivados del suelo como servicios monetizables e intercambiables.
Economía ecológica	Capital natural se complementa con el capital creado	Controversia sobre monetización y mercantilización de los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos asociados al suelo.

FUENTE: adaptado a partir de Gómez-Baggethun *et al.*, 2010 [76].

Además, la *revolución verde*, con la introducción de un paquete tecnológico que proveía de mejores métodos de fertilización y cultivo propició que los rendimientos agrícolas aumentaran considerablemente, ocultando el hecho de que la agricultura intensiva y otras presiones amenazan con reducir la fertilidad de los suelos de forma permanente. Como consecuencia del papel marginal que juega el sector agrícola en los países industrializados, la investigación sobre los aspectos económicos de la calidad del suelo se centra principalmente en aquellas regiones donde el suelo sigue siendo un factor económico influyente [77].

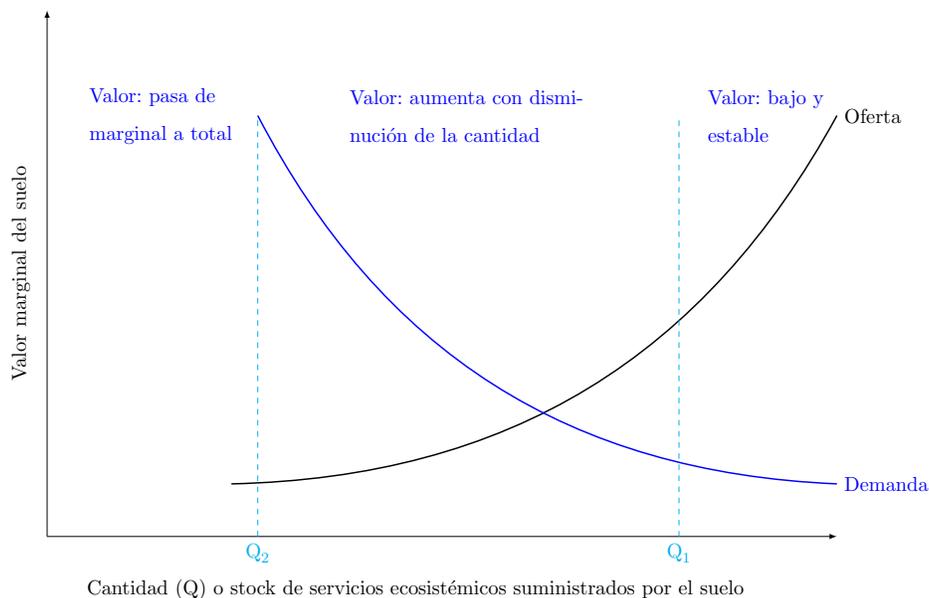
Ahora, en cuanto a la economía neoclásica uno de sus supuestos más arraigados es que la mayoría de los bienes y servicios son fungibles o sustituibles, es decir, cada recurso/proceso natural tiene un sustituto adecuado y es libremente intercambiable con otro de naturaleza o tipo similar. Esta perspectiva cargada de optimismo tecnológico, considera que el progreso tecnológico logrará encontrar sustitutos adecuados para resolver los problemas que limitan el crecimiento económico. En realidad, la cuestión puede ser un poco más complicada que eso, concretamente en el caso de sistemas multifuncionales como el suelo, puede ser posible encontrar un sustituto para una función o servicio ecosistémico específico de los que el suelo suministra pero la experiencia muestra que es imposible proponer sustitutos para todas las funciones y servicios a la vez [14].

De acuerdo a la visión económica hegemónica la calidad del suelo sería regulada o compensada por los mecanismos de mercado. Sin embargo, el mercado no es capaz de hacer frente a temas de equidad intra e intergeneracional ni de disminuir o evitar las consecuencias que puedan presentarse, diferidas geográficamente, producidas por cierta actividad en particular que deteriore la calidad del suelo [175].

En virtud de lo anterior para estimar el valor del suelo es necesario emplear un enfoque económico que incluya o cuando menos considere la característica esencial del suelo, es decir, que su disponibilidad inicial y las funciones que realiza preceden la actividad económica y están ampliamente por fuera de la influencia del hombre. Como en la mayoría de los recursos naturales [120], el suelo visto como parte del CN se origina por procesos biológicos, químicos o geológicos que no pueden ser controlados a voluntad aun cuando existan técnicas de remediación, restauración y conservación de suelos.

En ese sentido la economía ecológica (EE) constituye un campo articulador de disciplinas, susceptible de aplicarse al estudio del suelo ya que aborda la relación economía-naturaleza-sociedad desde una posición teórico metodológica dotada de legitimidad [11], si bien la EE surge como crítica y una alternativa a la economía ambiental y a la de recursos naturales, es común que sus propuestas, métodos y análisis coincidan puesto que las fronteras conceptuales entre estas tres corrientes de la economía no están estrictamente delimitadas [142], así, en ocasiones la EE, emplea conceptos típicamente utilizados dentro de la economía ambiental, esto debido a que la postura que se mantiene con respecto a la racionalidad económica, deriva en una versión conservadora<sup>2</sup> de EE.

Fig. 1.2: Curvas de oferta y demanda de servicios ecosistémicos asociados al suelo.



FUENTE: elaborada a partir de Farley, 2012 [66, pag 43].

<sup>2</sup> Denominada así porque promueve la implementación del instrumental analítico de mercado que se asocia (aunque no es exclusivo) a la economía ambiental, de este modo se pone de manifiesto el grado de influencia y afinidad por la economía neoclásica, Daly y Costanza son referentes de esta versión de EE [11].

De este modo se asume que la oferta de servicios ecosistémicos asociados al suelo se genera en la naturaleza (concretamente proviene de estructuras y procesos biofísicos que en conjunto con las funciones del suelo generan el flujo ecosistémico) y la demanda de tales servicios se lleva a cabo por la sociedad [39], y que la variación de valor ocurre en función de la demanda que se haga de los SE suministrados por el suelo, la figura 1.2 muestra la manera en que el valor del suelo varía, reiterando que forma parte del capital natural crítico, pasando de un valor bajo y estable cuando el stock/cantidad de SE es elevado, posteriormente el valor marginal aumenta a medida que disminuye la cantidad (área entre  $Q_1$  y  $Q_2$ ), así hasta pasar de un valor marginal a un valor total casi incalculable cuando la cantidad es cercana a cero [66].

Adicional a que muchos SE suministrados por el suelo no tienen sustitutos viables (e.g. su influencia sobre la regulación climática y el ciclo hidrológico), cuando la demanda de estos servicios se aproxima al suministro disponible que es fijo o constante o cuando el suministro se acerca a un nivel mínimo para la supervivencia, el valor de estos servicios no sustituibles aumenta considerablemente tendiendo casi a infinito, debido a una curva de oferta marginal casi vertical [38].

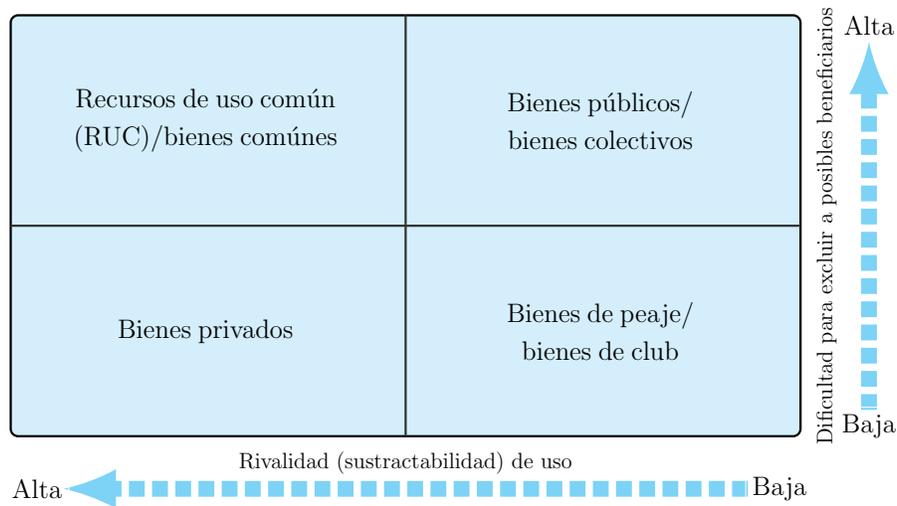
Diversos autores coinciden en que el suelo es fuente esencial de una amplia variedad de SE que proveen beneficios a las personas [115, 56, 2, 98, 173, 175], en ese sentido el valor asignado al suelo corresponde a los beneficios que las personas obtienen. Es decir, los SE tienen valor por cuanto contribuyen al bienestar de las personas.

Ahora bien, a pesar de que se ha señalado con regularidad que el suelo como recurso es un bien público [14], puede que no encaje por completo en esa categoría, ya que al hablar de sus funciones y de los SE que suministra cambia el panorama ya que es distinta la categoría de bien al cual pertenece cada uno. En general, la mayoría de las personas y organizaciones dentro de la sociedad conocen y valoran los servicios de provisión de los suelos, e.g. producción de biomasa para la alimentación, fibra, etc., sin embargo, el valor de los otros servicios ecosistémicos tiende a no ser apreciado debido en gran parte a la naturaleza invisible de estos servicios y a la naturaleza de muchos de sus servicios ecosistémicos asociados como *bienes públicos*.

No obstante la importancia del suelo se le asigna poco valor o en algunos casos solo se considera su valor de uso directo, en ese sentido el trabajo de Ostrom sobre recursos de uso común, bien puede aplicar al suelo, a los servicios ecosistémicos que suministra y por supuesto a los beneficios que de ellos se derivan. Ante eso, los SE asociados al suelo vistos como bien común, puede corresponder a una escala pequeña y servir a un grupo reducido o ampliarse a una escala comunitaria e incluso extenderse a nivel internacional.

La figura 1.3 muestra la caracterización de los tipos de bienes (o beneficios) derivados de suelo, en función de la rivalidad al usarlo y de la dificultad para excluir a potenciales beneficiarios de los mismos bienes. A pesar de que esta clasificación es sumamente utilizada y popular, se tienen que hacer algunas precisiones como tomar en cuenta los entornos institucionales en los que se ubican los bienes, y hacer explícito: i) qué tecnología se usa para producir el bien, ii) cuánto del bien se produce, iii) el mecanismo de distribución para el bien, iv) qué tan intensa es la demanda para el bien, v) cómo se definen las unidades marginales del bien, vi) qué tipo de actividades se definen como *consumo*, vii) los diferentes significados que se asocian a la noción de exclusión [63].

Fig. 1.3: Caracterización de los tipos de bienes en función de su rivalidad y exclusión.



FUENTE: elaborado a partir de Euler, 2018 [63, pag 176].

Además algunos de los bienes y/o beneficios derivados del suelo pueden poseer límites claros y estar acotados (e.g. los originados de los servicios de provisión) o en su defecto no tener límites claros (e.g. los originados de los servicios de regulación y culturales). Tal distinción toma relevancia y se aprecia al distinguir entre *sistema de recursos* y *unidades de recursos*, en el contexto de esta investigación el suelo es equivalente a un componente del sistema de recursos mientras que los SE y los beneficios que se derivan equivalen al flujo de unidades de recursos, lo cual permite notar que el sistema de recursos y el flujo de unidades de recursos son interdependientes.

Es poco probable que se asigne valor a algo que no es percibido, aún a pesar de la brecha que existe tanto entre los beneficios marginales individuales (privados) como en los sociales (regionales o globales). Algunas posibles explicaciones de por qué los usuarios no asignan un valor considerable al suelo pueden ser la escasez de información y conocimiento sobre las funciones que realiza [168], o las

preferencias en el tiempo ya que por lo regular solo se asigna a valor a los beneficios que representan bienestar inmediato sin considerar aquellos que en el mediano y largo plazo están contribuyendo al mismo [77].

Tal vez parte de la percepción que se tiene sobre el suelo se relaciona con que solo se considera su productividad económica y no necesariamente su productividad ecosistémica. Motivo por el cual es necesario construir indicadores para cada una de las funciones del suelo y relacionarlas con la eficiencia económica, como se ha hecho en otros contextos [81, e.g.], y generar información que puede ser utilizada para propósitos de gestión y manejo de suelos.

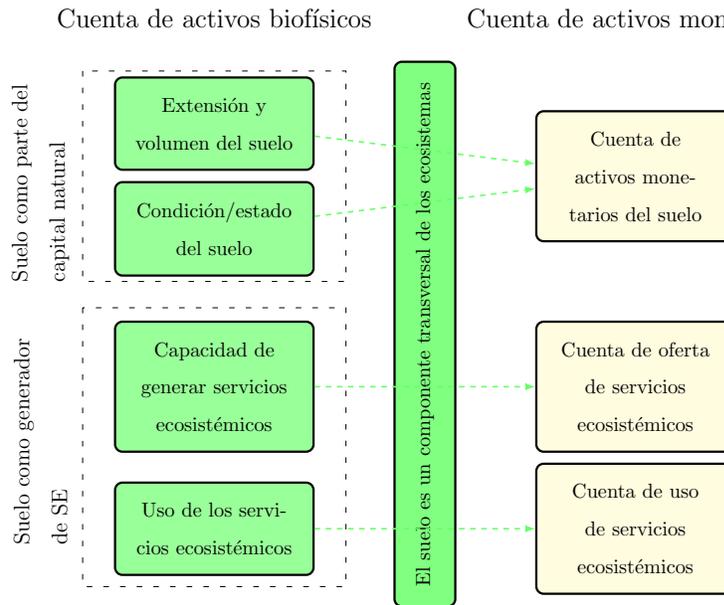
Luego entonces hay que establecer a qué se está asignando valor y cómo es que se hace, por lo que es necesario comprender que se puede hablar de productividad ecosistémica del suelo, pues de acuerdo a la definición de producción la cual indica que representa la cantidad máxima que puede obtenerse de un conjunto especificado de insumos dada la tecnología [78], y diferenciando que en economía la fertilidad, la productividad, la salud y calidad del suelo (las definiciones de estos últimos se presentaron en la introducción), no representan lo mismo. Así fertilidad se refiere a su capacidad para suministrar nutrientes para las plantas. La productividad es la capacidad del suelo para generar rendimientos óptimos bajo un conjunto estándar de prácticas de manejo. El rendimiento es la cantidad de producción de biomasa, puede ser biológico (biomasa total) o económico, e.g. granos, verduras, madera, fibras u otros productos tales como resinas, azúcares y aceites [134]. En contraste puede interpretarse que la productividad ecosistémica del suelo se interpreta como un proceso para suministrar beneficios a través de los servicios ecosistémicos y que está soportado por la calidad y la salud de este recurso, desde luego incluye a la productividad biológica y a la económica.

Dicho todo lo anterior, ahora es pertinente mencionar que para contabilizar el valor del suelo se necesita hacerlo en términos biofísicos y monetarios, la figura 1.4 esquematiza la cuenta de activos biofísicos y de activos monetarios del suelo, en el caso de que sea considerado como parte del capital natural las cuentas de activos biofísicos serían la extensión y volumen del suelo así como el estado/condición que deben verse reflejados en una cuenta de activos monetarios, y en caso de que sea considerado como un elemento generador de SE las cuentas de activos biofísicos del suelo serían la capacidad para generar servicios ecosistémicos y la cantidad de SE que pueden usarse, del mismo modo estas deben reflejarse en cuentas de activos monetarios que serían la oferta de servicios ecosistémicos y el uso real que se hace de los mismos.

La contabilización del suelo va estrechamente relacionado con la asignación de valor [156, c.f.], los

autores que proponen incorporar los servicios ecosistémicos en los sistemas de cuentas económicas y ambientales describen este proceso [110, c.f.], evidentemente relacionándolo con las distintas actividades económicas.

Fig. 1.4: Esquemmatización de cuentas de activos biofísicos y monetarios para contabilizar el valor del suelo.



FUENTE: adaptado de Robinson *et al.*, 2017 [156, pag 3].

Como opción la economía ofrece varias perspectivas principales para analizar la cuestión del valor del suelo, y por tanto su conservación y la manera en que esta se relaciona con las distintas actividades económicas: i) la perspectiva económica de la producción que examina el impacto en los costos de producción, ii) la perspectiva de la economía industrial que se centra en las implicaciones para la competencia industrial, iii) la perspectiva económica institucional que se concentra en cuestiones reglamentarias y de incentivos [178]; iv) la perspectiva de la bioeconomía como un enfoque de producción, consumo, procesamiento, almacenamiento, reciclado y disposición de recursos biológicos [101], y v) la perspectiva de la economía circular que enfatiza la maximización de reusar los recursos naturales y productos derivados de ellos, y minimizar su depreciación [22]. Por supuesto además de la economía ecológica [58].

### 1.2.2. El marco para analizar servicios ecosistémicos asociados al suelo.

El uso prolífico del término *servicios ecosistémicos* en diversos estudios ha comenzado a generar preocupaciones acerca de su aplicación arbitraria así como por la diversidad de enfoques y la falta de una metodología consistente para su implementación [165]. Si bien se han desarrollado marcos diferentes para operacionalizar este concepto [figura 2.1 c.f.], lo cierto es que a menudo son específicos de una determinada cuestión y cada uno tiene sus propias definiciones y entendimientos de términos particulares [161, 57]. Por añadidura corresponde ahora establecer como habrá de estimarse el valor del suelo, y es que a pesar de los numerosos esfuerzos de investigación realizados en las últimas décadas, la integración del concepto de SE en la toma de decisiones sobre el manejo del suelo continúa planteando considerables desafíos.

Partiendo de que el suelo es una fuente esencial de una amplia variedad de SE que proveen beneficios a las personas [115, 56, 2, 99, 173, 175], estimar su valor requiere que se considere de qué depende el suministro de servicios ecosistémicos para que en lo posible se integre en los estudios sobre valoración.

Es por ello que el marco *Common International Classification of Ecosystem Services*, CICES [36], resulta sumamente ilustrativo para describir los flujos ecosistémicos que se generan a partir del suelo, debido a que utiliza un modelo de cascada [147], el cual permite mostrar que los servicios ecosistémicos involucran una trama compleja de interacciones entre el dominio de lo natural o biofísico, donde se generan estos servicios, y el humano o social, donde se capturan o utilizan [39].

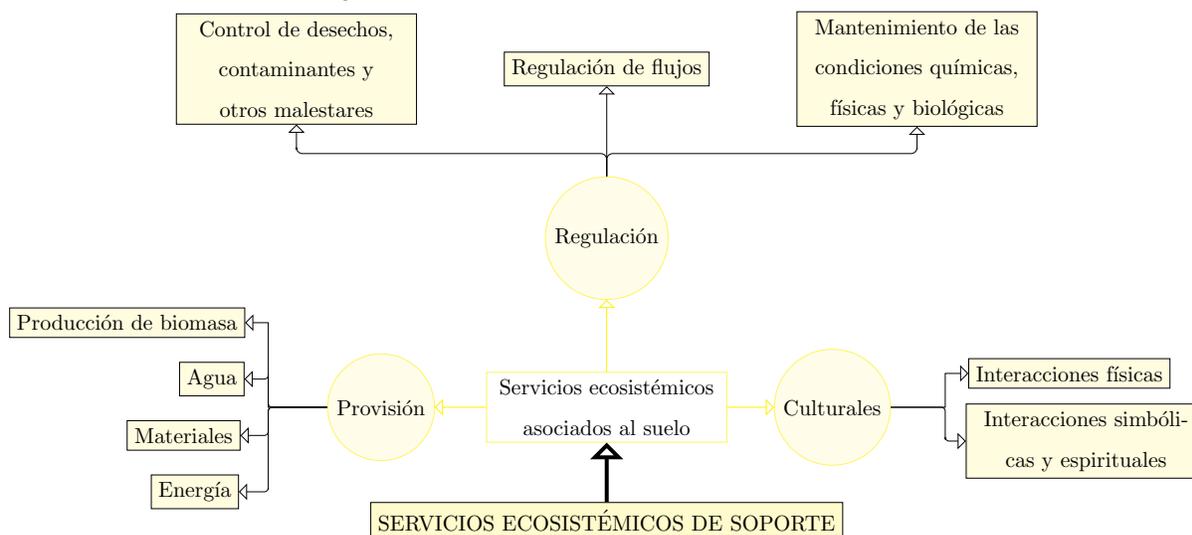
Este enfoque permite conectar de manera tanto sucinta como lógica las estructuras y procesos ecosistémicos con los elementos que inciden en el bienestar de las personas como se aprecia en la figura 1.5, de esta manera dentro de la infraestructura ecológica ocurren los procesos característicos (e.g. bioturbación, mineralización, descomposición) debido a las propiedades del suelo (e. g. contenido de materia orgánica, pH, textura), de las que surgen sus funciones (e.g. producción, hidrológica, almacenamiento, archivo patrimonial), las cuales en interacción dan origen a los servicios ecosistémicos asociados a este recurso (e.g. producción de biomasa, suministro de agua, suministro de materiales, control de contaminantes), a su vez de ellos derivan los beneficios (e.g. productos alimenticios, medicamentos, agua potable) a los que finalmente se les asigna valor (e.g. valor de uso, de opción, de legado, de existencia). Producto del valor que representa el suelo se determinan o no acciones sobre su uso, manejo, gestión y aprovechamiento, que tienen impacto sobre el suelo tanto en el lugar donde se originan los flujos ecosistémicos así como en otros ecosistemas.



consumidos o utilizados directamente para generar bienestar humano [19].

Por consiguiente se entiende por servicios ecosistémicos asociados al suelo aquel flujo proveniente de la infraestructura ecológica (del suelo) constituida, por una parte, por las estructuras y procesos biofísicos y por otra parte por las funciones que realiza el suelo [98], los servicios ecosistémicos asociados al suelo evidentemente se clasifican en las categorías que se muestran en la tabla 1.4 aplicables a todo tipo de SE, y la figura 1.6 esquematiza esas categorías pero ya enfocados al suelo.

Fig. 1.6: Servicios ecosistémicos asociados al suelo.



FUENTE: elaborado a partir de La Notte *et al.*, 2017 [110]; Greiner *et al.*, 2017 [79] y Haines-Young & Potschin, 2018 [85].

Es importante mencionar que las categorías empleadas corresponden a la versión 4.3 del marco CICES, sin embargo se advierte que hay una versión actualizada (V5.1) de las mismas con algunas modificaciones que en cierta medida harán más comprensible el valor del suelo, así como ofrecer mayor detalle para apreciar la cantidad de beneficios que suministra.

Por último también debe precisarse que la valoración de los SE que suministra el suelo en más de un sentido puede entenderse como una estimación del valor del suelo. El concepto de SE, específicamente aquellos asociados al suelo, en la actualidad va tomando mayor relevancia en investigación económica, e.g. Görlach, *et al.*, 2004 [77], Cotler *et al.*, 2011 [41]; Jónsson & Davíðsdóttir, 2016 [98]; Adhikari & Hartemink, 2016 [2], entre varios que realizan aportes sustanciales al estudio del suelo reconociendo la importancia que tiene.

Tab. 1.4: Marco Common International Classification of Ecosystem Services (CICES).

<i>Sección</i>	<i>División</i>	<i>Grupo</i>	<i>Clase</i>	
PROVISIÓN	Nutrición (producción de biomasa)	Biomasa	Cultivos	
			Plantas silvestres, algas y sus productos	
			Animales salvajes y sus productos	
			Plantas y algas de la acuicultura in situ	
			Animales de la acuicultura in situ	
			Materiales de plantas, algas y animales para uso agrícola	
			Materiales genéticos de toda la biota	
			Animales criados y sus productos	
		Agua	Agua superficial para beber	
			Agua subterránea para beber	
		Materiales	Biomasa	Fibras y otros materiales para uso directo o procesamiento
			Agua	Agua superficial para fines no potables
		Energía	Fuentes de energía a base de biomasa	Recursos basados en plantas
				Recursos basados en los animales
				Energía mecánica
Energía mecánica	Energía animal			
REGULACIÓN	Regulación de desechos, contaminantes y otras molestias	Regulación por la biota	Biorremediación por microorganismos, algas, plantas y animales	
			Filtración / secuestro / almacenamiento / acumulación por microorganismos, algas, plantas y animales	
			Filtración/secuestro/almacenamiento/acumulación	
		Regulación por los ecosistemas	Mediación de olores / ruido / impactos visuales	
			Dilución por atmósfera, agua dulce y ecosistemas marinos	
		Regulación de flujos	Flujo de líquidos	Mantenimiento del flujo de agua
				Protección contra inundaciones
			Flujos de masas	Estabilización masiva y control de las tasas de erosión
				Amortiguamiento y atenuación de flujos de masas
			Flujos de gases/aire	Regulación climática global mediante la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero

Cont. tabla 1.4

			Regulación climática micro y regional
			Protección contra tormentas
Mantenimiento de las condiciones químicas, físicas y biológicas	Mantenimiento de ciclo de vida, protección de hábitat y grupo de genes.	Polinización y dispersión de semillas	
		Mantenimiento de poblaciones y hábitats de viveros	
	Control de plagas y enfermedades	Control de plagas y enfermedades	
	Composición atmosférica y regulación climática.	Ventilación y transpiración	
	Formación y composición del suelo	Procesos de meteorización	
		Procesos de descomposición y fijación	
	Condiciones del agua	Condición química de las aguas dulces	
		Condición química de las aguas saladas	
CULTURALES	Interacciones físicas e intelectuales con la biota, los ecosistemas y paisajes terrestres/marinos	Interacciones físicas y vivenciales	Uso experimental de plantas, animales y paisajes terrestres / marinos en diferentes entornos ambientales
			Uso físico de paisajes terrestres / marinos en diferentes entornos ambientales
		Interacciones intelectuales y representativas	Estético
			Educación
			Patrimonio cultural
			Entretenimiento
			Científico
	Interacciones espirituales y simbólicas con la biota, los ecosistemas y paisajes terrestres/marinos	Espiritual y / o emblemático	Simbólico
			Sagrado y / o religioso
	Otros productos culturales		Existencia
			Legado

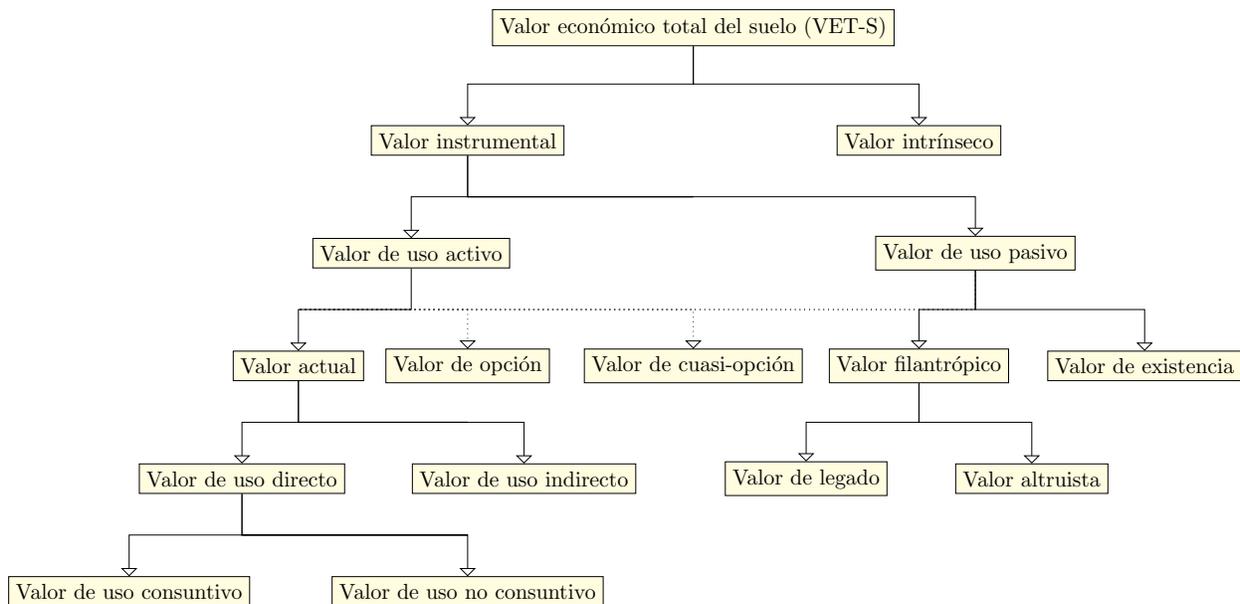
FUENTE: CICES, 2011 [36].

1.2.3. El valor del suelo y las técnicas para estimarlo.

El concepto de servicios ecosistémicos está intrínsecamente conectado al de valor [161], lo cual hace necesario definir al valor, aunque puede tener significados diferentes interesa principalmente el que se aplica en economía.

Un uso común del término es para designar *lo que es deseable o digno de estima por sí mismo; refiriéndose a un objeto o calidad con valor intrínseco*. En economía el término se usa en un sentido diferente, *es un equivalente justo o adecuado en dinero, mercancías, etc.*, donde *equivalente en dinero* representa la suma de dinero que tendría un efecto equivalente en el bienestar o en la utilidad de los individuos. Estos dos usos diferentes de la palabra corresponden a una distinción hecha por los filósofos entre el valor intrínseco y el valor instrumental. Según ellos, algo tiene un valor intrínseco si es valioso en sí mismo, si su valor no se deriva de su utilidad, sino que es independiente de cualquier uso o función que pueda tener en relación con algo o con alguien más...se dice que una entidad intrínsecamente valiosa es un fin en sí mismo, no solo un medio para los fines de otro. De modo opuesto, algo tiene un valor instrumental si se lo valora como un medio para algún otro fin o propósito. Desde este punto de vista, el valor de algo radica en su contribución a algún otro objetivo [71].

Fig. 1.7: Componentes del valor económico total del suelo.



FUENTE: adaptado de Baveye *et al.*, 2016 [14, pág 23].

La figura 1.7 muestra los componentes del valor económico total del suelo, dentro de esos compo-

mentos se considera su valor intrínseco, ello con la finalidad de poner en la discusión la importancia de la capacidad que el suelo posee *per se* para realizar funciones que potencialmente representan beneficios, en contra parte el valor instrumental es aquel del cual se desprenden los valores de uso generalmente atribuibles a los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos suministrados por el suelo. Se muestra al valor de uso como activo y pasivo (habitualmente denominado valor de no uso), para resaltar que, cuando menos en el caso del suelo, es prácticamente imposible que las personas no obtengan algún beneficio derivado de alguna de las múltiples funciones que realiza.

De acuerdo con de Groot *et al.*, 2002 [51], en cuanto al valor de los servicios ecosistémicos se distinguen tres tipos distintos que también se consideran para el suelo: i) *valor económico*, retomando la definición previa, es la suma de dinero que tendrá un efecto equivalente en el bienestar o en la utilidad de los individuos, en esencia el valor económico se refiere al valor instrumental; ii) *valor ecológico*, refleja la importancia de un ecosistema dado, determinado tanto por la integridad de las funciones de regulación y hábitat del ecosistema como por parámetros ecosistémicos tales como complejidad, diversidad y rareza, en esencia el valor ecológico se refiere al valor intrínseco del suelo; y iii) *valor social*, se asigna a los beneficios intangibles de la naturaleza, los cuales combinan elementos sociales y ecológicos. Están relacionado con las percepciones, actitudes y creencias de las personas [110], este valor juega un papel relevante en la determinación de la importancia de los ecosistemas naturales y sus funciones para la sociedad. Es indispensable en la identificación de importantes funciones ambientales, enfatizando la salud física y mental, la educación, la diversidad cultural y la identidad (valor patrimonial), la libertad y los valores espirituales. Por lo tanto, los sistemas naturales son una fuente crucial de bienestar no material e indispensable para una sociedad sostenible [51]. En ese contexto el valor social se refiere principalmente a las interacciones físicas, vivenciales y a las espirituales-simbólicas que los individuos establecen con el suelo en un determinado sistema socioecológico.

Si bien los desarrollos conceptuales y metodológicos en la valoración económica han tenido como objetivo abarcar una amplia gama de valores, incluidos los intangibles, los valores sociales no pueden captarse plenamente mediante técnicas de valoración económica y deben complementarse con otros enfoques para informar la toma de decisiones. Este es especialmente el caso donde algunos servicios ecosistémicos se consideran esenciales para la propia identidad y existencia de las personas.

En lo que respecta al suelo se hace mucho más evidente esta situación ya que los SE culturales son una construcción social y como tal no puede considerarse que proceden de flujos ecológicos o biofísicos. Sin embargo son fuente crucial de bienestar no material a través de su influencia en la

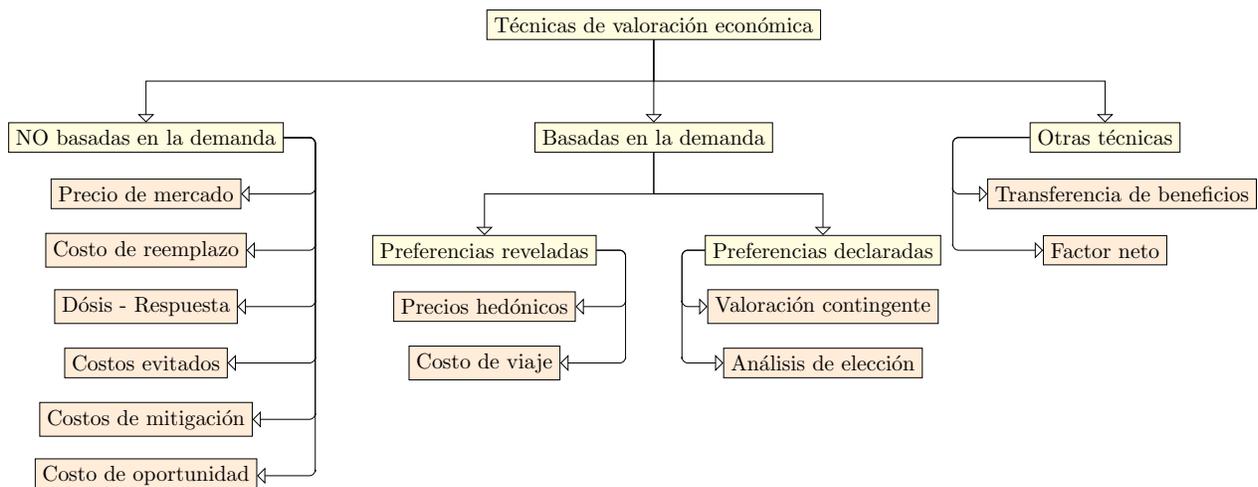
salud mental y sus valores históricos, nacionales, éticos, religiosos y espirituales.

Para obtener al menos una medida mínima (base) de la importancia de los beneficios y valores sociales, se han desarrollado varias medidas, como el índice de bienestar humano [108].

Es necesario establecer que los SE asociados al suelo y los beneficios que el suelo suministra no son lo mismo. Fisher & Turner (2008), mencionan que un beneficio es algo que tiene un impacto explícito en los cambios en el bienestar humano. De esta manera, el valor se tiene que asignar a los beneficios, no a los SE como se suele pensar [147].

Ahora, para asignar valor a algunos de estos beneficios es necesario hacer uso de las técnicas de valoración que existen para estimar, o bien, el valor económico total o alguno de sus componentes. Como primera aproximación se observa que es amplia la diversidad de técnicas disponibles y cada una ofrece tanto ventajas como desventajas, en la figura 1.8 se esquematizan las más utilizadas, en el capítulo 4 se retomaran y describen con fines metodológicos estas técnicas.

Fig. 1.8: Principales técnicas de valoración monetaria para estimar el valor del suelo.



FUENTE: basado en ELD, 2015 [61, pag 33-38].

Para finalizar se hace referencia a los *trade-offs* que se producen cuando el suministro de un servicio ecosistémico se reduce como consecuencia del uso incrementado de otro SE. En algunos casos, un *trade-off* puede ser una elección explícita; pero en otros, surgen sin premeditación ni conciencia de que están teniendo lugar.

Los *trade-off* en servicios ecosistémicos pueden clasificarse en tres categorías: i) espacial que se refiere a si los efectos del *trade-off* se perciben localmente o en un lugar distante, ii) temporal que se refiere a si los efectos tienen lugar de forma relativamente rápida o lenta, y iii) reversibilidad

que expresa la probabilidad de que el SE perturbado pueda volver a su estado original si cesa la perturbación [158].

Razón por la cual se debe reconocer que toda intervención por parte de los diversos actores implica cambios en la magnitud y sentido de los niveles de suministro de SE asociados al suelo. Es importante destacar, además, que se compromete el nivel de suministro de dichos servicios en función de las prácticas que se implementen sobre el suelo. En muchos casos, al maximizar algunos servicios se afecta de forma negativa a otros, y esto puede suceder en distintas escalas espaciales y temporales y tener distintas consecuencias sobre diferentes actores sociales [114], por lo que tomar en consideración esta situación puede revelar potenciales sinergias y conflictos futuros entre distintos SE, o entre SE y otros objetivos de política [118].

### 1.3. *¿Por qué asociar los servicios ecosistémicos al suelo?*

A lo expuesto en esta sección aún no se le ha otorgado la importancia debida dentro de investigaciones económicas, es necesario mencionarlo o por lo menos señalarlo para lograr una mayor comprensión acerca del funcionamiento del capital natural del suelo y conceptualizarlo como un activo valioso [58, 156], y por ende comprender por qué asociar los servicios ecosistémicos al suelo. De entrada hay que señalar que en general el suelo se define como la parte sólida de la tierra, incluidos los compuestos líquidos y gaseosos y los organismos que allí se encuentran [22], i.e., incluye cualquier material a 2 m de la superficie de la Tierra que está en contacto con la atmósfera, se excluyen organismos vivos sobre él, áreas con hielo continuo no cubierto por otro material y cuerpos de agua a más de 2 m de profundidad [156].

Se debe tener claro que esta asociación se hace en el contexto de la calidad (aunque también debe considerarse la salud) de este recurso [79], que se refiere a su capacidad para realizar las funciones que le caracterizan, dentro de los límites ecosistémicos y del uso de la tierra, manteniendo la calidad ambiental, la productividad biológica y proporcionando soporte para las plantas, los animales y el ser humano [17].

Arshad & Coen, 1992 [6] mencionaron que no existía alguna forma estandarizada para operacionalizar este concepto, es decir, para medir la calidad del suelo, ni evaluar sus cambios, mucho menos de medir su capacidad funcional. La dificultad principal para ello radica en la variedad de funciones que realiza, en ese sentido es comprensible que si el suelo se utiliza para diferentes propósitos la calidad del suelo tenga distinto significado para diferentes usuarios de este recurso [161], lo cual no es extraño debido a que, según la definición de Star & Griesemer, 1989 [172], el suelo se considera

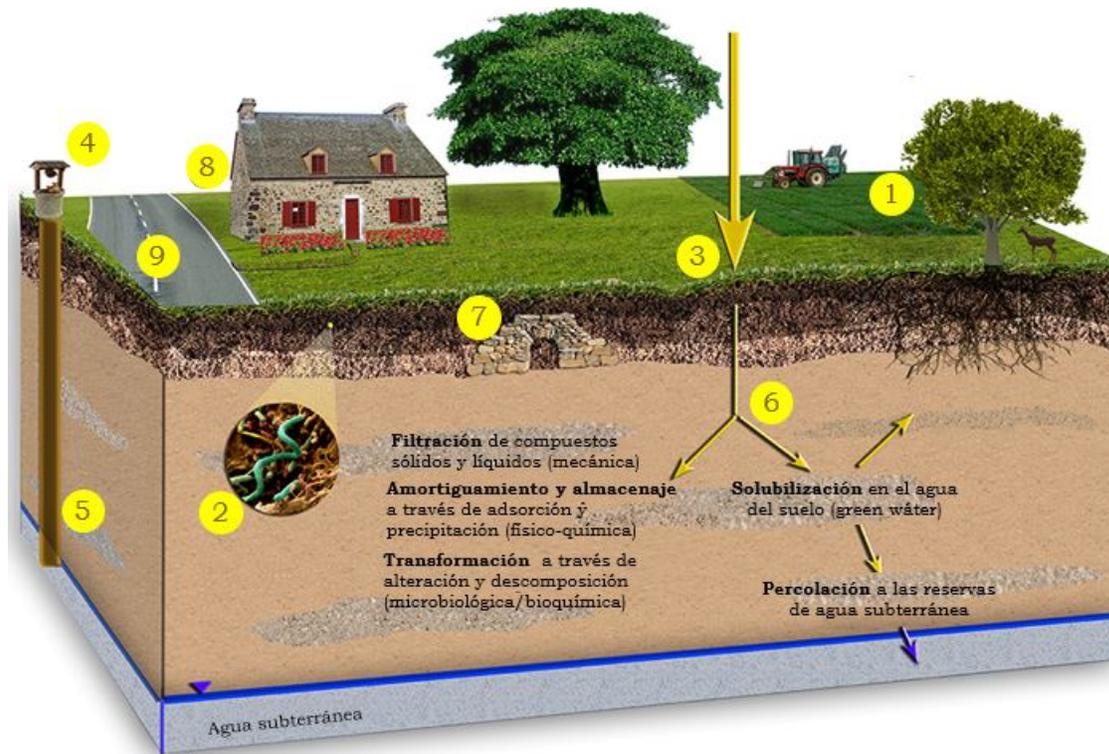
un objeto de frontera. Lo cierto es que el interés al respecto va en aumento debido a la importancia que el suelo tiene para el bienestar de la humanidad y de la calidad del ambiente [2, 79], pero principalmente por su importancia económica.

Aun cuando el concepto de función suele emplearse indistintamente como sinónimo de uso, rol, servicio o proceso, para referirse a la operación de un sistema, en este caso el suelo, dando lugar a diferentes combinaciones de categorías [96], es necesario distinguir entre esos conceptos. Diversos autores [77, 112, 113, 65, 173, 161, e.g.] reconocen que el suelo realiza una multitud de funciones de suma importancia económica, ecológica, social y cultural, y que son esenciales para la vida. Algunos otros coinciden en que el suelo es fuente de una amplia variedad de SE que proveen beneficios a las personas [115, 56, 2, 99, 175, e.g.]. Lo que es un hecho es que todos reconocen el papel fundamental que el suelo juega en la regulación de los procesos naturales y socioeconómicos que son necesarios para la supervivencia humana, tales como la producción de biomasa (e.g. cultivos agrícolas o la que se produce en otros ecosistemas), el ciclo del agua y el sistema climático. Por lo tanto tiene un valor económico y social significativo, el cual apenas se reconoce.

En este punto se tiene que precisar que derivado de un subconjunto de interacciones entre el CN y los procesos del suelo se generan las funciones que son necesarias para el suministro de servicios ecosistémicos y beneficios finales que satisfacen las necesidades humanas. Las funciones (servicios) de soporte son etapas intermedias en la cadena de producción establecida entre el stock (sistema de recursos) y el flujo (unidades de recursos). Por lo que las funciones del suelo pueden considerarse en el contexto de los SE, aun cuando no se hace distinción entre funciones y servicios ecosistémicos asociados al suelo [161], en esos términos las funciones del suelo pueden considerarse como insumo para el suministro de servicios ecosistémicos.

Entonces surge ahora la necesidad de saber ¿qué funciones realiza el suelo las cuales puedan considerarse en el contexto de los servicios ecosistémicos?, para responder por ejemplo Blum, 2005 [16], propuso clasificar las funciones del suelo en funciones ecológicas y funciones no ecológicas, la figura 1.9 esquematiza las funciones del suelo las seis primeras son principalmente las funciones ecológicas o naturales, las restantes son funciones no ecológicas que están claramente relacionados con las actividades humanas. Es destacable que aunque no se corresponden exactamente con las categorías de servicios ecosistémicos en esencia las funciones del suelo representan el proceso del cual parten dichos SE.

Fig. 1.9: Representación de las funciones del suelo.



FUENTE: adaptado de Baveye *et al.*, 2016 [14, pág 4]

Las múltiples funciones del suelo varían entre los diversos autores [171, 25, 79, 104, 2, 17, 16], para efectos de esta investigación se presentan de la siguiente manera:

1. Producción: el suelo es la base de soporte para múltiples sistemas biológicos a través de la producción de biomasa que principalmente proporciona alimentos y forrajes, fibras, combustibles, maderas y otros materiales bióticos para el uso humano, ya sea directa o indirectamente a través del buen manejo de los animales incluyendo acuicultura y pesca costera, ya que la disponibilidad de alimentos y otros productos agrícolas, así como la silvicultura, dependen totalmente del suelo. Casi toda la vegetación, incluidos los prados, granos cultivados y árboles, necesitan del suelo para el suministro de agua y nutrientes, y para fijar sus raíces.
2. Ambiente biótico: el suelo es la base de la biodiversidad proporcionando el hábitat biológico para una gran y diversa cantidad de organismos que viven en y sobre el suelo, es decir, debajo y sobre su superficie, todos ellos con un patrón genético irremplazable. Por lo tanto, realiza funciones ecológicas de gran importancia.

3. Regulación climática: el suelo y el uso que se hace de él son, a la vez, fuente y depósito de gases de invernadero (libera  $CO_2$ , metano y otros gases hacia la atmósfera, así como también los fija, captura y/o secuestra), y forman parte de los co-determinantes del balance de energía global; a través de la reflexión, absorción y transformación de la energía solar y del ciclo hidrológico global.
4. Hidrológica: el suelo regula el almacenamiento y el flujo de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.
5. Almacenamiento: el suelo es un depósito y almacén de materias primas tales como agua, arcilla, grava, arenas, materia orgánica, turba, energía, minerales y diversas sustancias químicas para uso humano. Además se considera un reservorio genético.
6. Control de residuos y contaminantes: el suelo actúan como receptor, filtro, amortiguador y transformador de compuestos nocivos evitando que se transfieran a las cadenas tróficas. Funciona como un filtro natural de las aguas subterráneas, la principal fuente de agua potable, asimismo regula la calidad del aire, por otro lado la biota del suelo lleva a cabo el control biológico de plagas y enfermedades, recicla desechos y detoxifica al suelo.
7. Archivo o patrimonial: el suelo es un medio para almacenar y proteger la evidencia de la historia de la humanidad y una fuente de información de las condiciones climáticas y uso del suelo en el pasado, por lo tanto constituye también un elemento considerado como documento histórico del paisaje y del patrimonio cultural.
8. Espacio vital: el suelo proporciona la base física o plataforma para la colonización humana, para las estructuras industriales y las actividades sociales, tales como la recreación y el deporte.
9. Espacio conectivo: el suelo proporciona espacio para el transporte de las personas, de los insumos y de la producción así como para el desarrollo y crecimiento de las plantas y para la movilidad de los animales dentro de áreas limitadas de los ecosistemas naturales.

Con esta breve descripción de las funciones del suelo, se comienza a apreciar que *los suelos ayudan a mitigar y a adaptarse al cambio debido a que suponen la mayor reserva de carbono terrestre* [95, 111, 4, 169, 117, 184]; *los suelos almacenan y filtran el agua, a diferencia de lo que se cree no es la vegetación sino los suelos sanos quienes realmente retienen el agua y eventualmente*

la infiltran para recargar acuíferos [100], y no debe omitirse el mencionar que son determinantes para la resiliencia ante inundaciones y sequías. Del mismo modo debe señalarse que los suelos contribuyen a la seguridad alimentaria pues al ser la base para la vegetación la seguridad alimentaria y la nutrición dependen de los suelos sanos [89, 74].

Por ejemplo, se considera para el caso de los bosques [178] que, los suelos son la base de la producción de todos los bienes tanto públicos como privados, así como de todos los SE suministrados por esos ecosistemas. Más aún se considera que los suelos forestales en comparación con otros usos del suelo se encuentran en un estado casi natural. Mientras que en el caso de los suelos urbanos también son diversos los SE suministrados, aun cuando no se percibe el suelo actúa sobre el control de inundaciones, provee de atributos estéticos a las ciudades (e.g. la producción de biomasa no solo se debe relacionar con la agricultura ya que en gran medida es la base de la belleza escénica de los paisajes), regula el clima, entre otros [25, 65].

Ahora bien, las funciones del suelo se basan en las propiedades de este recurso y sus interacciones, las cuales a su vez son modificadas principalmente por el uso y manejo del suelo [115, 161, 2]. De ahí que la calidad del suelo sea variable y que por lo tanto los suelos respondan de forma distinta conforme las prácticas implementadas sobre él, lo que significa que cualquier cambio o reacción que se produzca dentro de los suelos, sea físico, químico o biológico produce cambios en su capacidad funcional pudiendo generar que disminuya su calidad afectando el suministro de servicios ecosistémicos. Para mayor claridad al respecto en la tabla 1.5 se relacionan las distintas funciones del suelo con los servicios ecosistémicos.

La tabla tiene como finalidad señalar que los servicios ecosistémicos asociados al suelo se originan por la permanente combinación e interacción de sus funciones, así por ejemplo se muestra que el servicio de provisión de agua principalmente surge de la función hidrológica, de almacenamiento y de control de residuos y contaminantes.

Tab. 1.5: Funciones del suelo que permiten el suministro de diversos servicios ecosistémicos de provisión, regulación y culturales.

<i>Servicio ecosistémico asociado</i>	<i>Función del suelo</i>
Suministro de alimento	Función de producción de biomasa, función de almacenamiento, función de ambiente biótico para proporcionar agua, nutrientes y apoyo físico para el crecimiento de plantas para el consumo humano y animal
Suministro de agua	Función hidrológica y función de almacenamiento para la retención y purificación de agua

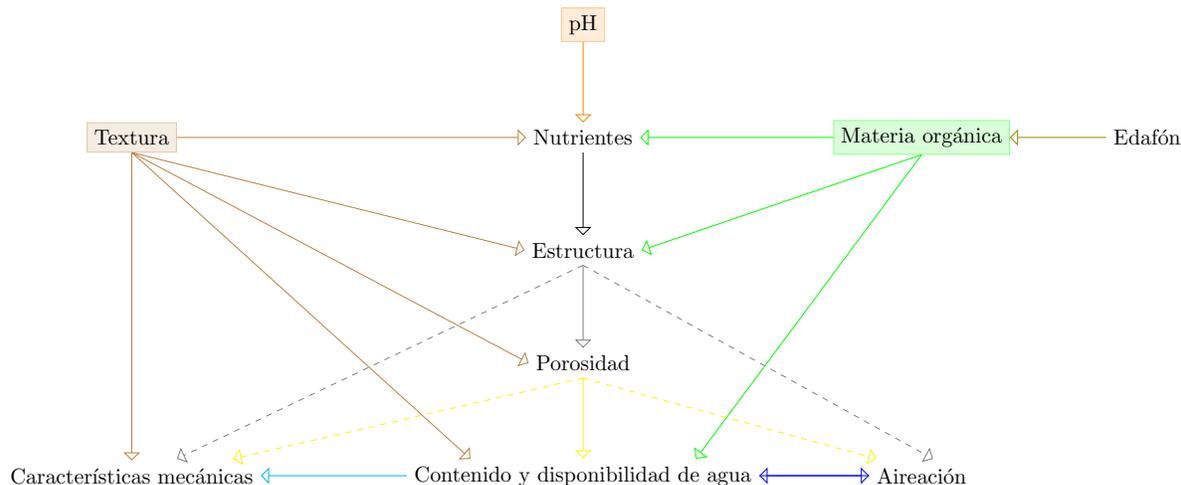
Cont. tabla 1.5

Suministro de fibras y combustibles	Función de producción de biomasa, función de almacenamiento, función de ambiente biótico para proporcionar agua, nutrientes y soporte físico para el crecimiento de plantas cultivadas usadas como fibras o para producir bioenergía (biocombustibles)
Suministro de materias primas del suelo	Función de almacenamiento para suministrar tierra vegetal, agregados, turba, arena, arcilla, minerales, etc.
Superficie estable	Función de espacio vital para dar soporte para las viviendas humanas y la infraestructura relacionada
Refugio (entorno físico)	Función de ambiente biótico para proporcionar hábitat para animales del suelo, pájaros, etc.
Recursos genéticos	Función de almacenamiento como fuente de materiales biológicos únicos
Regulación de la calidad del agua	Función de control de residuos y contaminantes para el filtrado y almacenamiento de sustancias en el agua de suelo ( <i>green water</i> ). Del mismo modo ocurre para la transformación de contaminantes.
Regulación del suministro de agua	Función hidrológica y función de almacenamiento para regular la infiltración de agua hacia el suelo y del flujo de agua dentro del suelo, y para regular el drenaje del exceso de agua fuera del suelo y hacia las aguas subterráneas y superficiales
Regulación climática	Función de regulación climática para el almacenamiento/retención de las emisiones de gases de efecto invernadero $CO_2$ , $N_2O$ y $CH_4$
Estéticos y espirituales	Función de ambiente biótico para la conservación de la diversidad natural y cultural del paisaje, y la función de almacenamiento que permite que sea fuente de pigmentos y colorantes que son utilizados con fines artísticos y estéticos.
Patrimonio	Función de archivo o patrimonial para la preservación de registros arqueológicos

FUENTE: FAO &amp; ITPS, (2015)

De modo que el factor determinante para que el suelo lleve a cabo sus funciones son sus propiedades inherentes, tanto físicas, químicas y biológicas, que por cierto son dinámicas y manejables [73, 173, 9], las cuales ahora puede señalarse que son fundamentales para el suministro de servicios ecosistémicos ya que determinan el funcionamiento de este recurso, para ejemplificar el papel de las propiedades del suelo en la figura 1.10 se esboza la relación existente entre estas y la función hidrológica que desempeña el suelo. La figura tiene la finalidad de ilustrar el papel de las propiedades del suelo en una función específica, no pretende ser exhaustiva al describir dicho proceso. De esta manera señala que la textura del suelo incide sobre el contenido y disponibilidad de nutrientes, sobre la estructura y porosidad del suelo, sobre las características mecánicas, hasta llegar al contenido y disponibilidad de agua. En el caso de la materia orgánica de modo similar la figura muestra su incidencia sobre el contenido y disponibilidad de nutrientes, en la estructura del suelo y en el contenido y disponibilidad de agua.

Fig. 1.10: Ejemplo de la relación de las propiedades del suelo con la función hidrológica.



FUENTE: elaborado a partir de Brady &amp; Weil, [20]

La tabla 1.6 está basada en Siebe *et al.*, 2006 [167], en la que se presenta una descripción básica de algunas de las propiedades del suelo para que quede más claro el vínculo con las funciones del suelo.

Tab. 1.6: Descripción básica de las propiedades del suelo.

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
Contenido de materia orgánica	es la acumulación de materia orgánica muerta expuesta a diversos procesos de descomposición tales como la mineralización, fermentación o humificación. Se necesita distinguir que el almacén de C del suelo comprende dos componentes, el carbono orgánico del suelo estimado en 1550 Pg <sup>a</sup> y el carbono inorgánico del suelo estimado en 750 Pg, es decir, el contenido de C en el suelo de aproximadamente 2300 Pg a 1 m profundidad [111].
Capacidad de intercambio catiónico	es la capacidad que tiene un suelo para retener o liberar iones positivos gracias a su contenido de materia orgánica y a su contenido de arcillas. A mayor contenido aumenta su capacidad de intercambio catiónico. Esta propiedad es determinante para que los suelos puedan retener nutrientes.
Textura	es la composición mecánica del suelo, es decir, la distribución de los tamaños de partículas (arenas, limas y arcillas) que lo constituye. Es una de las características más importantes del suelo y resulta determinante para explicar la infiltración del agua
Densidad aparente	es un criterio importante para la evaluación del balance hídrico y de nutrientes de un suelo, esta propiedad es determinante en relación a la permeabilidad y profundidad biológica.
pH	permite hacer inferencias en relación con la disponibilidad relativa de nutrimentos principalmente. Determina muchos procesos pedogenéticos (intemperización, mineralización), también salinidad o sodicidad en los suelos (generalmente cuando el pH es mayor a 8.5).

Cont. tabla 1.6

Porosidad y retención de agua	los suelos contienen diferente número de poros de diámetros variados, dependiendo de su textura, densidad aparente y contenido de materia orgánica, se incluyen poros, grietas, canales de lombrices y raíces, etc. Esta propiedad determina el drenaje interno y la aireación del suelo. Estos poros se encuentran llenos de agua o aire en función de su tamaño y del balance hídrico del área en cuestión. La retención de agua en los suelos actúa conforme a las leyes de capilaridad y de adsorción a superficies fijas.
Estructura	se refiere a la agregación de partículas primarias en partículas compuestas. Esta propiedad influye de manera determinante en el balance hídrico y térmico al igual que en la aireación de un suelo e indirectamente en la actividad biológica, el potencial de rendimiento y la erosionabilidad.
Estabilidad de agregados	determina la penetrabilidad de las raíces, así como la resistencia a la destrucción y consecuentemente a su erosión por viento o agua.
Profundidad	indica los límites de los horizontes minerales y orgánicos, incluye a la profundidad de desarrollo para señalar el espesor del suelo sobre el material parental no intemperizado. En función de sus características (si no están compactados o sellados) se determina si las raíces vegetales podrán o no desarrollarse en ellos. También incluye a la profundidad fisiológica que señala el espesor del suelo en el que pueden desarrollarse potencialmente las raíces.
Edafón	son todos los organismos del suelo que forman tramas tróficas complejas y cumplen cuatro funciones básicas para los servicios ecosistémicos, las cuales son: i) descomposición de la materia orgánica, ii) gobiernan los ciclos biogeoquímicos, iii) control de plagas y enfermedades y iv) bioturbación, es decir, actúan como ingenieros de los ecosistemas incidiendo directamente sobre la estructura y porosidad del suelo [23, 24].

FUENTE: basada en Siebe *et al.*, 2006 [167]. <sup>a</sup> = Pg = petagramos, 1 Pg = 1015 gramos.

Finalmente, en virtud de lo anteriormente expuesto, conservar la calidad del suelo de acuerdo con Doran & Parkin, 1994 [59], además de mantener la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo, resulta sumamente importante porque representa la posibilidad de contribuir al bienestar humano ya que los suelos sanos pueden soportar, hasta cierto grado, las presiones que combinadas y en aumento pueden traducirse en una lenta pero generalizada degradación del suelo [134, 175, 77], que genera un estado de salud en el que no pueden proporcionar servicios ecosistémicos, la fase final del proceso de degradación es la desertificación de la tierra.

Lo anterior no es un asunto menor, por el contrario se considera relevante e importante ya que provoca que disminuya cualitativa o cuantitativamente, o incluso que se pierda por completo su capacidad actual o futura para suministrar servicios ecosistémicos [130], por lo que debe considerarse el administrar y gestionar de manera sostenible al suelo [99], que esencialmente es un bien público gratuito, pues las implicaciones de su degradación incluyen, pero no se limitan a [6, 130], cambios o disturbios que deterioran su calidad [17], generando costos tanto a nivel privado como público,

y se ve reflejado en múltiples escalas espaciales y temporales [175], la razón es porque se requiere obtener bienes que sustituyan o más bien busquen sustituir esos SE, ya que el suelo, a diferencia de otros recursos naturales, es insustituible [10].

Es importante incorporar los procesos de degradación del suelo en un marco que reconozca su costo económico, causado por el uso del suelo, así como las amenazas para este recurso causadas por la actividad económica humana. En algunas ocasiones los costos de la degradación ambiental, el agotamiento de los recursos naturales y los valores de los servicios ecosistémicos que no tienen mercados formales no están incluidos. Esto se debe a que los sistemas de cuentas nacionales se centran en los bienes y servicios con mercados establecidos, o en algunos casos la degradación de manera perversa se contabiliza como ingreso, ya que las pérdidas ambientales a menudo estimulan la actividad económica [156].

Si bien la literatura proporciona diversas clasificaciones de los tipos de degradación del suelo básicamente se usan las siguientes categorías [170, 77, 130]: i) degradación física que conduce principalmente a pérdida de suelo (e.g. debido al viento, las lluvias y deslizamientos de tierra), y cambios en la estructura del suelo (e.g. por ejemplo causados por la compactación debido al paso de maquinaria pesada, sellamiento parcial o total de suelo debido al desarrollo urbano), ii) degradación química que conduce principalmente a cambios en las propiedades químicas del suelo (e.g. pérdida de equilibrio químico), acumulación de metales pesados y otras sustancias tóxicas (e.g. derivado de la contaminación del suelo o la salinización), y iii) degradación biológica que conduce principalmente a reducción de la actividad y la diversidad de la biota del suelo, que se deben a la deforestación y a la disminución de hojarasca en el suelo y a la contaminación.

## 2. ESTADO DEL ARTE SOBRE EL VALOR DEL SUELO

En este capítulo se expone brevemente cuáles son los aspectos que se requiere incorporar para realizar estudios sobre el valor del suelo. También se presentan algunas tendencias sobre el uso y conservación de suelos que pueden relacionarse con su valor. Lo anterior además da indicios acerca de cómo se ha abordado el estudio del suelo en el contexto de los servicios ecosistémicos, con la finalidad de tener un panorama que permita visualizar qué opciones existen para hacerlo.

### 2.1. *Investigaciones sobre servicios ecosistémicos y suelos.*

A pesar de que la valoración económica representa una herramienta sumamente útil para orientar la toma de decisiones respecto de la gestión y manejo de los recursos naturales, desde hace tiempo se señaló que los estudios sobre valoración de servicios ecosistémicos eran incipientes, puntuales y muchas veces incompletos e insuficientes [41].

En la actualidad el panorama no parece haber cambiado mucho, sin embargo parte de los avances se manifiestan a través del consenso acerca de la amplia variedad de beneficios que los SE proporcionan a la sociedad, puesto que desempeñan un papel fundamental en la riqueza, la salud, los medios de subsistencia, y para la propia supervivencia [39]. Razón por la cual su pérdida se percibe como grave, lo que ha incentivado a proponer nuevas formas de revalorar la relación entre la sociedad y los SE [144].

Si bien es cierto que la *Milennium Ecosystem Assessment*, MEA [126], agrupó a los servicios ecosistémicos en las categorías que ahora se conocen [2], también lo es que previo a ella hubo esfuerzos por definirlos y categorizarlos [38, 46, 51], así como también hay propuestas posteriores a la MEA cuyo aporte en términos analíticos debe reconocerse [19, 68, 177, 36, e.g.], concretamente porque en el caso del suelo estas últimas propuestas ofrecen mayores posibilidades para abordar su valor, tal es el caso del proyecto RECARE [161].

De este modo la figura 2.1 pretende mostrar la evolución que ha tenido lugar con relación a los marcos para analizar servicios ecosistémicos hasta llegar a enfoques que expresamente se han generado en el contexto del valor del suelo.

Fig. 2.1: Marcos para analizar servicios ecosistémicos.



FUENTE: elaborada a partir de los autores señalados en la figura.

El término SE fue el primero propuesto a principios de los años ochenta para aumentar la conciencia pública sobre las consecuencias negativas de la pérdida de la diversidad biológica en el bienestar humano [161]. Es importante mencionar que Daily *et al.*, 1997 [46] fueron los primeros en abordar las funciones del suelo en el contexto de los servicios ecosistémicos, casi al mismo tiempo que Costanza *et al.*, 1997 [38], hablaban del valor mundial de los SE y del CN.

Posteriormente los SE fueron definidos sistemáticamente por la MEA [126], como *la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano*; y clasificados en las cuatro categorías utilizadas hasta la fecha, años más tarde Boyd & Banzhaf, 2007 [19], hicieron la distinción entre servicios ecosistémicos y beneficios con la finalidad de estandarizar una manera para cuantificarlos y contabilizarlos, sin embargo fueron Fisher & Turner, 2008 [68], quienes los clasificaron en aquellos de contribución directa que son llamados servicios finales mientras que aquellos de contribución indirecta son clasificados como servicios intermedios, para de esta manera designar todos los bienes y servicios que las sociedades humanas obtienen de los sistemas naturales.

La definición más reciente propuesta por TEEB en el 2010 [108, 98], retoma los aportes tanto

de Boyd & Banzhaf, 2007, como de Fisher & Turner, 2008, en la que establece que *los servicios ecosistémicos son el aporte directo e indirecto de los ecosistemas (flujo) al bienestar humano* [161, 88, 169, 2] a través de diversas vías dentro una multiplicidad de escalas espacio-temporales [175]. Hace poco tiempo se propuso una clasificación internacional común para los servicios ecosistémicos, la cual recibe el nombre de CICES [36] cuya base conceptual es el modelo de cascada CSE que une de una sumamente apegada a la realidad tanto el componente biofísico donde se generan los SE y el sistema socioeconómico donde son usados, y para el caso del suelo también debe mencionarse el proyecto RECARE [161], el cual básicamente se enfoca en desarrollar medidas de prevención, remediación y restauración de suelos degradados.

Vale la pena mencionar también que de Groot *et al.*, 2002 [51], comenzaron a hacer la distinción entre valor ecológico, económico y social.

En consecuencia ha cambiado la conceptualización de los SE conforme se profundiza en su comprensión, y han surgido diversas posturas o visiones, así por ejemplo Schwilch *et al.*, 2016 [161], identifican dentro de la investigación sobre servicios ecosistémicos cuatro al respecto, de las cuales una de ellas va en la misma dirección que el planteamiento de esta investigación ya que se centra en los valores y no en la valoración, en la que los servicios ecosistémicos son considerados como parte de los sistemas socioecológicos y por tanto los valores asociados con el conocimiento y la comprensión ecológicos juegan un papel importante en el suministro de servicios ecosistémicos, al igual que las redes sociales asociadas a ellos.

Del mismo modo es de esperarse que estos avances en el estudio de los servicios ecosistémicos generen información que permita ampliar el entendimiento sobre el valor del suelo, así por ejemplo Daily & Matson, 2008 [48], señalaron la necesidad de estandarizar técnicas y métricas para analizar servicios ecosistémicos, por otro lado Seppelt *et al.*, 2010 [165], detectaron cuatro aspectos que pueden incorporarse en la valoración de servicios ecosistémicos con la finalidad de garantizar el rigor científico y el enfoque tanto integral como sistémico: i) el realismo biofísico en los datos y los modelos de ecosistemas; ii) los *trade-offs* locales, iii) los efectos *off-situ*, es decir, el suministro de servicios ecosistémicos a diferentes escalas, y iv) la participación integral pero crítica de los *stakeholders* en los estudios de valoración. Adicional a esto Robinson *et al.*, 2012, 2013 [154, 155] detectaron que para realizar estudios de valoración de SE asociados al suelo se requiere: a) desarrollar un marco, uno que otorga un énfasis equilibrado al stock y a los flujos, b) cuantificar cambios en el recurso del suelo, esto se puede lograr a través del monitoreo y modelado de stocks, flujos y transformaciones, e identificando los indicadores apropiados que pueden usarse en los esquemas de monitoreo para

vincular el modelado a la realidad, c) valorar los beneficios netos para la sociedad desde opciones alternativas de manejo del suelo, y d) desarrollar estrategias de gestión y herramientas de apoyo a la toma de decisiones.

Entre las revisiones más recientes Greiner *et al.*, 2017 [79], reportan entre sus hallazgos que el suelo apenas se ha considerado o no ha sido bien representado en estudios previos de servicios ecosistémicos, aun cuando algunos autores (e.g. MEA, de Groot, CICES) han mencionado la formación del suelo o su fertilidad, no proporcionaron herramientas operativas para cuantificarlos o mapearlos. Al respecto Adhikari & Hartemink [2], recopilaron las propiedades fundamentales del suelo relacionadas con los SE individuales, que en sí mismo es un gran aporte a pesar de que no proporcionaron métodos operativos para cuantificar la contribuciones del suelo a los SE y vincular a estos sus propiedades.

Hasta ahora continúan siendo escasos los estudios sobre el valor del suelo, de modo que Jónsson & Davíðsdóttir, 2016 [98] realizaron una revisión de los métodos que a nivel mundial se han aplicado para valorar SE asociados al suelo, su información esquematizada se muestra en la tabla 2.1. Asimismo Pérez-Verdín *et al.*, 2016, [144], revisaron la situación actual de los estudios sobre SE en México, y se observa que hasta la fecha solo un estudio se relaciona con SE asociados al suelo, se trata del llevado a cabo por Cotler *et al.*, 2011 [41], en el que obtuvieron un valor de 41.0 \$US/ha/año para el control de la erosión. La tabla 2.1 muestra los estudios en los que se ha estimado el valor de los servicios ecosistémicos suministrados por el suelo.

Tab. 2.1: Estudios que han estimado el valor de los servicios ecosistémicos asociados al suelo.

<i>Categoría</i>	<i>Servicio valuado</i>	<i>Técnica</i>	<i>Valor</i>	<i>Autores</i>
Provisión	Producción de biomasa	PM, PP	231-22,219 \$id/ha/año	Decaens <i>et al.</i> , 2006; Haley, 2006; Porter <i>et al.</i> , 2009
	Materias primas	PP	9-147 \$id/ton	Dolley & Bolen, 2000; Jasinski, 2000; Virta, 2004
	Provisión de agua potable	CD, FN, PH	34-101 \$id/ml	Tegtmeier & Duffy, 2005
	Entorno físico	PM, PP	32-110 \$id/ha/año	Dominati <i>et al.</i> , 2014a, Dominati <i>et al.</i> , 2014b
Regulación	Control biológico de plagas y enfermedades	CE, CP	59-268 \$US/ha/año	Barrios, 2007, Dominati <i>et al.</i> , 2010a; Sandhu <i>et al.</i> , 2008
	Regulación del clima y gases	EE, PM, CR	2-268 \$id/ha/año	Haygarth & Ritz, 2009; Lavelle <i>et al.</i> , 2006; Turbé <i>et al.</i> , 2010; Wall, 2004

Cont. tabla

2.1

	Control hidrológico	CD, PH, CR, TB, GD, CP, CM	30-1,175 \$id/ha/año	Bond <i>et al.</i> , 2011; Colombo <i>et al.</i> , 2006; San & Rapera, (2010)
	Filtración de nutrientes y contaminantes	CP, GD	544-6,402 \$id/ha/año	Andrews <i>et al.</i> , 2004; Dominati <i>et al.</i> , 2010b
	Reciclaje de desechos y detoxificación	CP	77-330 \$id/ha/año	Dominati <i>et al.</i> , 2014a, Dominati <i>et al.</i> , 2014b
Culturales	Recreativos	CD	571-720 \$id/año	Decaens <i>et al.</i> , 2006; Eastwood <i>et al.</i> , 2000
	Cognitivos	ND	ND	ND
	Herencia	ND	ND	ND

FUENTE: elaborada a partir de Jónsson & Davíósdóttir, 2016 [98]. En la columna técnicas PM = precio de mercado; PP = precio a productores; CD = costo del daño; FN = factor neto; PH = precios hedónicos; CE = costo evitado; CP = costo de provisión; CM = choice modelling; CR = costo de reemplazo; GD = gasto de defensa; TB = transferencia de beneficios; VC = valoración contingente. En la columna valor id = dólares internacionales. ND = No determinado.

## 2.2. Tendencias sobre conservación de suelos.

A partir de lo expuesto en la sección anterior, es comprensible que hasta hace poco tiempo la importancia de los suelos no se reconocía explícitamente, por ejemplo en los acuerdos internacionales es muy reciente su incorporación, prueba de ello es el acuerdo 4 x 1000 presentado en la COP 21 de Cambio Climático [129], que busca impulsar el papel de los suelos en la mitigación de gases de efecto invernadero o la Declaración de Cancún presentada en la COP 13 de Biodiversidad que reconoce a la conservación y la gestión sostenible del suelo como un ecosistema vivo, en especial ligado con el concepto de salud del suelo [139], y como uno de los fundamentos de la agricultura y la seguridad alimentaria.

De este modo recientemente comenzó a desatacarse la gran importancia del suelo precisamente porque representa la posibilidad de alcanzar la seguridad alimentaria, de adaptarse ante los efectos del cambio climático e indiscutiblemente su influencia en las condiciones de pobreza, marginación y migración rural, así como su relación con el cumplimiento de los ODS [104].

En tabla 2.2 se presentan algunos de ellos, así como los servicios ecosistémicos que contribuyen al logro de los mismos. Evidentemente los servicios ecosistémicos están ligados e interactúan, aquí se muestran aquellos que más directamente contribuyen al logro de cada objetivo. Es importante

resaltar que alinearse al cumplimiento de los mismos requiere de la adopción de prácticas de manejo sostenible para proteger la calidad del suelo y por ende el suministro de SE básicos que se le asocian.

Tab. 2.2: Objetivos de Desarrollo Sostenible y servicios ecosistémicos que contribuyen a lograrlos.

<i>Objetivo</i>	<i>Servicio ecosistémico que contribuye a lograrlo</i>
ODS 1: Fin de la pobreza	Todos los servicios ecosistémicos (los más directamente identificados son producción de biomasa, fuente de materias primas, suministro de agua potable , entorno físico, control biológico de plagas y enfermedades, regulación del clima y gases, control hidrológico, filtración de nutrientes y contaminantes, reciclaje de desechos y detoxificación, servicios recreativos, cognitivos y de herencia).
ODS 2: Hambre cero	Para alcanzar la seguridad alimentaria se requiere producción de biomasa, suministro de agua potable y entorno físico
ODS 3: Salud y bienestar	Para que todas las personas tengan una vida saludable se requiere control biológico de plagas y enfermedades, filtración de nutrientes y contaminantes, y reciclaje de desechos y detoxificación
ODS 5: Igualdad de género	Entorno físico, y servicios culturales (tanto interacciones físicas como espirituales y simbólicas)
ODS 6: Agua para todos (agua limpia y saneamiento)	Suministro de agua potable, control hidrológico, y filtración de nutrientes y contaminantes
ODS 7: Energía para todos	Para generar energía asequible y no contaminante se requiere la producción de biomasa y generar materias primas
ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles	Entorno físico, regulación del clima y gases.
ODS 13: Combate al cambio climático	Regulación del clima y gases
ODS 15: Protección a los ecosistemas terrestres	Todos los servicios ecosistémicos

FUENTE: FAO & ITPS, 2015 [65].

Con relación a las prácticas de manejo y gestión sobre suelos, para ejemplificar su alcance en la tabla 2.3 se muestran algunas tendencias globales al respecto, las cuales tienen incidencia sobre el suministro y la calidad del agua, así por ejemplo los cambios en el uso del suelo pueden aumentar o disminuir el suministro de agua, mantener o disminuir su calidad, secuestrar o liberar GEI, y desde luego también estas tendencias sobre manejo de suelos impactan sobre el suministro de servicios ecosistémicos culturales [65], toda vez que estos parten de interacciones sociales y no necesariamente de flujos biofísicos.

Tab. 2.3: Ejemplos de tendencias globales en prácticas de manejo de suelos y sus efectos sobre el suministro de servicios ecosistémicos mediados por el agua.

<i>Práctica de manejo</i>	<i>Provisión</i>	<i>Regulación</i>	<i>Culturales</i>
Cambio de uso del suelo (agrícola a urbano)	Disminución de la biomasa, disminución de la disponibilidad de agua para uso agrícola	Aumento de la superficie impermeable, disminución de la infiltración, almacenamiento, regulación del agua mediada por el suelo	Disminución del entorno natural
Cambio de uso del suelo (aumento en el cambio de herbáceas a pastizales intensivos)	Disminución de la biomasa, disminución de agregados del suelo	Mayor secuestro de carbono, mayor requerimiento de agua, estrés en la salud de los ecosistemas	ND
Irrigación (aumento)	Aumento de la biomasa en la agricultura de secano, disminución de la disponibilidad de agua para uso urbano	Aumento del secuestro de C, pero disminución del potencial de filtración	La infraestructura altera el paisaje
Drenaje (aumento marginal en el suelo)	Disminución de la saturación del suelo, aumento de la biomasa, reducción de los humedales	Disminución del secuestro de C, desnitrificación y atenuación de inundaciones	El potencial recreativo disminuye (e.g. ecoturismo)

FUENTE: FAO & ITPS, 2015 [65]. ND = no determinado.

En un sentido amplio la conservación del suelo tiene como finalidad mantener y recuperar su calidad [180, 87], es decir su capacidad funcional, así tan claro como se lee lo que interesa conservar de los suelos es dicha capacidad por lo que los estudios sobre conservación de suelo, suelo de conservación o SE asociados al suelo deberían considerarlas explícitamente, pues son la base de la que deben partir [57, c.f.].

Al respecto Vieth *et al.*, 2001 [181], consideran como una de las principales razones para conservar y proteger a los suelos el gasto debido a su degradación ya que es elevado, los autores analizaron la erosión.

La conservación del suelo como un problema social, que tiene su origen en factores económicos pero también en factores sociales, culturales y políticos comprende una serie de prácticas en el marco de sistemas de producción, las cuales deben responder a la identificación de las causas de los factores sociales y ambientales de la degradación de este recurso. Es necesario entender el problema desde sus orígenes, como los conflictos sociales, la tenencia de la tierra, los arreglos institucionales y las políticas públicas pasadas o presentes, las presiones del mercado, los procesos de migración y el abandono de tierras, los cambios de sistemas de producción u otras más que indiquen el detonador de las decisiones del manejo del territorio y la gestión del suelo que puede derivar en su degradación.

Conocer la percepción de los dueños de la tierra de forma participativa y conciliar la visión científica con la local, y a partir de ahí construir una visión común de la conservación de los suelos [40].

Además, en el enfoque moderno de la conservación de suelos y aguas, las acciones se deben insertar atendiendo a la necesidad de un manejo integrado y sustentable de tierras y no conceptualizarse como actividades independientes [40]. Esta misma necesidad se manifiesta en los enfoques sobre SE asociados al suelo [58, 156]. Sin omitir que la conceptualización del suelo debe ir más allá de solo un medio necesario para la producción agrícola, debe tomar en cuenta su importancia en la generación y mantenimiento de múltiples servicios ecosistémicos.

A la luz de lo anterior, todo esto resulta sumamente relevante ya que México cuenta con una vasta diversidad edáfica, de hecho se encuentran presentes casi todos los tipos de suelo descritos por la WRB [106], por lo que es pertinente pensar en conservar dicha diversidad, lo cual representa la obtención potencial de beneficios que se deriven de suelos con calidad adecuada.

En 2013, con el estudio para la determinación de la Línea Base Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación, se estimó que existen 116 millones de hectáreas afectadas, en donde viven 63 millones de personas. Por lo que es importante fortalecer e integrar las acciones en el Programa Nacional de Acción Contra la Desertificación, que derivan en la disminución de los procesos de degradación de los recursos naturales [31].

A pesar de ello México no cuenta con una política ni estrategia nacional de conservación de suelos claramente dirigida, con fines, metas y medios de implementación definidos que se oriente a la conservación de suelos, escasamente la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) hace referencia a esta situación en el Capítulo IV Prevención y Control de la Contaminación del Suelo. En cuanto a las Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelos se cuenta con la NOM 155-SEMARNAT-2007 que establece los requisitos de protección ambiental para los sistemas de lixiviación de minerales de oro y plata; la NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis; la NOM-020-SEMARNAT-2001 que establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo; la NOM-023-SEMARNAT-2001 que establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelos; la NOM-062-SEMARNAT-1994 que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios; y la NOM-060 SEMARNAT-1994 que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos

---

ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal [164].

Sin duda se requiere generar políticas vinculantes con los tres órdenes de gobierno; retomar el conocimiento local de los agricultores y de insertar las prácticas de conservación de suelos en un enfoque de cuencas [40]. Es indispensable que se incluya la información y el conocimiento acerca del suelo, necesarios para la gestión de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos. Específicamente relacionada con las propiedades del suelo y sus funciones, tal como ocurre con el desarrollo actual de un sistema de inferencia espacial del suelo dentro de la iniciativa del Mapa Digital de Suelos (MDS) liderada por INEGI y CONABIO [82].

### 3. APROXIMACIÓN METODOLÓGICA PARA ESTIMAR EL VALOR DEL SUELO

Este capítulo tiene como finalidad generar una guía metodológica detallada que provea de las etapas, fuentes, supuestos y toda aquella información que se necesitará para poder lograr un análisis de servicios ecosistémicos asociados al suelo.

La razón para proponer una metodología específica para estimar el valor del suelo obedece a la necesidad de contar con herramientas metodológicas que sean operativas para vincular las funciones del suelo (generalmente a través de sus propiedades) a los servicios ecosistémicos, y que permitan cuantificar la contribución de los suelos al suministro de estos y por ende estimar el valor de este recurso [79]. Lo cual implica abordar algunos aspectos teóricos distintos a la economía pero que hacen referencia al suelo, sus funciones y los SE que suministra y que permiten incorporar datos adicionales para poder mapear el espectro completo de servicios ecosistémicos [118]. Para ello se necesitan definiciones claras y específicas de los diferentes SE asociados al suelo y los beneficios que de ellos derivan, incluidos criterios e indicadores apropiados con sus correspondientes unidades de medición, que puedan utilizarse para establecer una ruta metodológica.

Sin dejar de lado el enfoque conceptual del cual parte la propuesta, en las siguientes páginas se describe cada una de las siete etapas que la integra, la primera de ellas consiste en definir y caracterizar el área de estudio dentro del SSE elegido, en la segunda etapa se realiza el mapeo de servicios ecosistémicos de acuerdo a la información relacionada con el suelo, la tercera etapa consiste en cuantificar los beneficios que se derivan de cada servicio ecosistémico previamente identificado, en la cuarta etapa se identifican los actores relevantes en cuanto a la apropiación de beneficios y la capacidad de impactar sobre la calidad del suelo, en la quinta etapa se asigna valor a dichos beneficios haciendo uso de la técnica de valoración que más se adecue, en la sexta etapa se presentan los resultados de tal modo que se explicita la mayor cantidad de información obtenida, finalmente en la séptima etapa se formulan algunas recomendaciones en función de los datos obtenidos.

### *Construyendo la propuesta.*

Analíticamente la estimación del valor del suelo se origina en el enfoque económico para valorar la calidad ambiental. En un sentido amplio puede interpretarse que se está asignando valor a la calidad del suelo, a través de su capacidad funcional para suministrar servicios ecosistémicos

Ciertamente establecer una metodología para cuantificar y estimar el valor de los beneficios que el suelo aporta (o el costo por su deterioro) es una tarea sumamente compleja que ha captado el interés de diversos autores [46, 77, 55, 56, 57, 41, 61, 98, 2, 161, 100, 79, e.g.]. No obstante lo anterior en la actualidad no se cuenta con criterios satisfactorios ni de aceptación general, o estudios detallados que permitan llevar a cabo y de forma adecuada, la valoración de los diferentes beneficios que el suelo suministra para el bienestar humano.

En vista de la ausencia de un marco acordado para identificar y/o clasificar los SE asociados al suelo y estimar su valor [155], las metodologías empleadas hasta ahora en su mayoría parten de los usos directos del suelo (principalmente SE de provisión) considerando que son los que deben valorarse para evitar el doble recuento; creando propensión a focalizar los esfuerzos por estimar solo el valor *in situ* del suelo. En contraparte, la estimación del valor del suelo va más allá y significa identificar<sup>1</sup> los siguientes aspectos:

- Las funciones del suelo, aquellos procesos biológicos, físicos y químicos que tienen lugar en la estructura biofísica del suelo, y que son descritos por la ecología.
- Los usos del suelo, en este contexto aquellos usos humanos que son de relevancia económica y social por los beneficios que generan.
- El valor de estos beneficios, generalmente estimado por medio de técnicas de valoración monetaria, aunque no es exclusivamente una tarea económica.
- Los actores, incluidos los usuarios tanto directos como indirectos, que en última instancia son quienes asignan valor al suelo.

En ese sentido, se identificó la propuesta de Jónsson & Davíósdóttir, 2016 [98], la cual consta de tres pasos o etapas, en el primero de ellos debe describirse el área (en términos del clima, cobertura, usos del suelo, prácticas de manejo del suelo, tipo y salud del suelo); el segundo consiste en identificar a los beneficiarios de los servicios en el área a partir de una evaluación de stakeholders,

---

<sup>1</sup> Görlach *et al.*, 2004 [77], mencionan algo similar aplicado a degradación del suelo.

y por último en el tercero se debe analizar el área en función de los servicios que se encuentran presentes, usando proxies para cuantificarlos en términos biofísicos. Las razones por las que no se abordó la propuesta de estos autores en esta investigación son la falta de detalle sobre la evaluación de stakeholders que menciona en el paso dos, adicional a que también es limitada la información que manejan sobre datos biofísicos del suelo aun cuando se refiere a ellos en el paso tres.

Por el contrario Görlach *et al.*, 2004 [77], y ELD, 2015 [61], abordan el estudio del suelo desde la perspectiva de la degradación, en el primer caso los autores emplean una versión ampliada del modelo Presión-Estado-Respuesta de la OCDE, básicamente proponen tres pasos para estimar los costos de la degradación del suelo; el primero de ellos consiste en identificar los impactos económicos que genera dicho proceso, el segundo paso implica la cuantificación de los mismos, y el tercero de ellos consiste en estimar coeficientes para valorar los impactos [77, pág 54], la razón para no seguir esta propuesta es porque en algunos aspectos es sumamente breve y no agota el análisis de lo que por definición implica analizar servicios ecosistémicos.

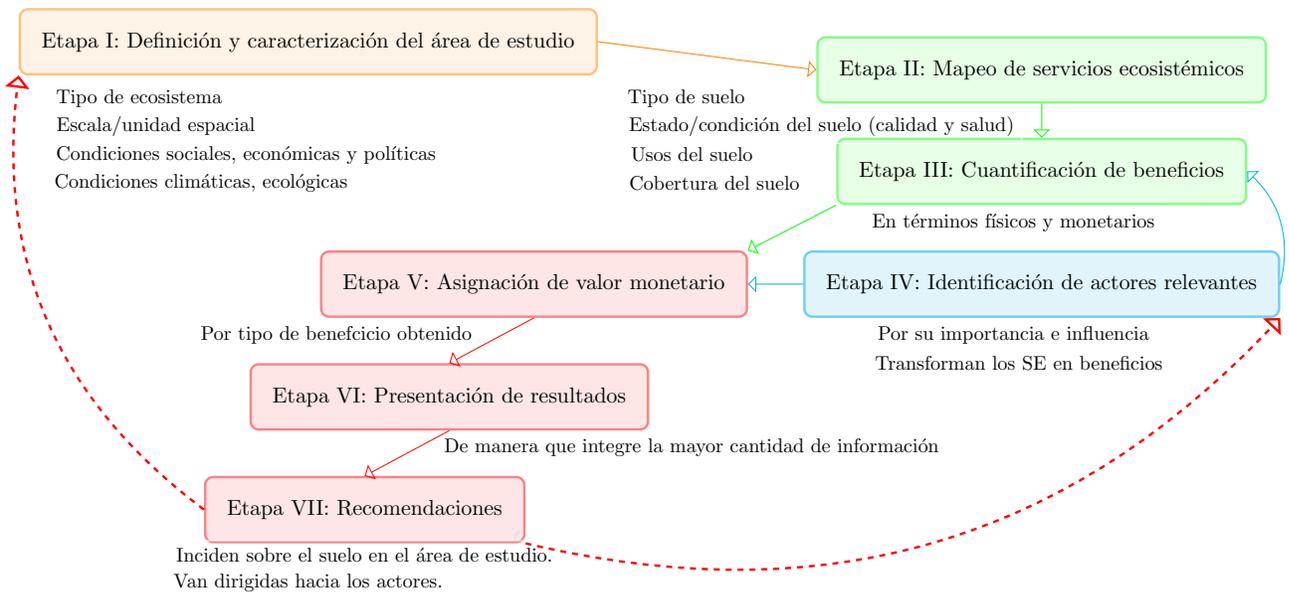
En el segundo caso, ELD *initiative* [61], se trata de una iniciativa denominada *Economic's Land Degradation* cuyo objetivo es estimar los costos de la degradación de la tierra (este concepto aborda al suelo de forma integral, como parte de un conjunto de condiciones biofísicas, lo cual implica integrarlas para el análisis), en el primer paso proponen contextualizar el estudio en términos económicos, sociales y ambientales, en el segundo paso se debe realizar una caracterización geográfica del área de estudio, el tercer paso consiste en identificar los servicios ecosistémicos y clasificarlos con base en la MEA, en el cuarto paso se establece la relación entre los SE y los medios de vida de las comunidades dentro del área de estudio, en el quinto paso se identifican las presiones y los patrones de degradación del suelo, el sexto paso consiste en realizar un análisis costo beneficio a partir de escenarios donde se establecen distintas prácticas de uso y manejo de suelos, el séptimo paso se implementan algunas acciones en función de los resultados obtenidos en su análisis. La principal razón para no abordar esta propuesta es porque en algunos puntos no es del todo claro qué criterios se deben usar para realizar cada paso, sin omitir que se basan en la MEA a diferencia de esta tesis que toma el modelo de cascada del marco CICES.

Sin embargo la postura asumida en esta investigación difiere de los autores mencionados al considerar que es necesario abordar el valor del suelo desde un punto de vista en el que se destaquen sus funciones e importancia lo cual permita resignificar su valor. En ese sentido el enfoque ecosistémico contribuye a hacer explícita su importancia y permite asignarle valor como un activo natural independiente o como parte de un conjunto de recursos interrelaciones e interdependien-

tes que suministran SE, tomando en consideración la heterogeneidad espacial y la diversidad de condiciones biofísicas y económicas [1], así como los actores relevantes dentro del área de estudio.

Es por todo lo anterior que se propone usar el siguiente enfoque metodológico para estimar el valor del suelo en un entorno particular, como se aprecia en la figura 3.1 se parte de la definición y caracterización del área de estudio, se procede a mapear los servicios ecosistémicos, se cuantifican los beneficios derivados de los distintos SE, se identifica a los actores que resultan relevantes en función de su importancia e influencia, se asigna valor monetario a los distintos beneficios, se presentan los resultados a partir de los cuales se emiten recomendaciones sobre el uso, manejo y gestión del suelo. Vale la pena señalar que la construcción de esta propuesta parte de la base esquemática presentada en el capítulo 1 (c.f. figura 1.1) y sigue la línea analítica de los SSE la cual resulta de gran ayuda para orientar el desarrollo y aplicación de esta metodología, ya que los distintos subsistemas que lo conforman permiten incorporar la información requerida en cada una de las etapas.

Fig. 3.1: Metodología para estimar el valor del suelo.



FUENTE: elaboración propia.

*Etapa I: Definición y caracterización del área de estudio.*

En esta etapa se define y caracteriza el área de estudio, considerando una unidad espacial de terreno [185, c.f.], para lo cual se describe el alcance y enfoque estratégico del estudio, la localización, la escala, se incluyen las condiciones climáticas, el tipo, el estado del suelo (calidad y salud), los usos, las prácticas de manejo, la cobertura [98], estableciendo los límites geográficos del área de estudio, a partir de una evaluación de la cantidad, distribución espacial y características ecológicas de los usos y tipos de cobertura de suelo que, generalmente, se clasifican en zonas agroecológicas [61] y se analizan a través de sistemas de información geográfica<sup>2</sup>.

Las zonas agroecológicas se definen como zonas homogéneas y contiguas con suelos, tierras y características climáticas similares [72]. Los objetivos principales de la *zonificación agroecológica* son: i) el inventario de datos de los recursos ambientales, ii) la identificación de ambientes homólogos, iii) la determinación del potencial agrícola de una región, iv) la planificación del desarrollo regional, y v) la identificación de las prioridades de investigación [3].

De manera similar Cotler & Cuevas, 2017 [44], mencionan que *los agroecosistemas expresan una multiplicidad de arreglos agroproductivos asociados al entorno ecológico, cultural, político y socioeconómico (Altieri et al., 2015; citado por las autoras), dando como resultado una particular coevolución entre la naturaleza y los agricultores, con sus particulares formas de organización, conocimientos y valores*. Como ejemplos describen por una parte sistemas agrícolas y agroforestales, y por otra sistemas pecuarios y silvopastoriles. Lo destacable es que los agroecosistemas no consideran a las personas como un componente externo [133], sino que hace parte del conjunto del sistema.

Adicional a la elección de zonas agroecológicas (o agroecosistemas) puede optarse por elegir como zona de estudio una cuenca hidrográfica<sup>3</sup>, elegir un área con base en criterios ecológicos, incluyendo sitios RAMSAR<sup>4</sup>, incluso puede realizarse por entidades federativas o por zonas económicas<sup>5</sup>. La cuestión es que sin importar el tipo de zona electa, invariablemente todas dependen de los suelos, cuyas propiedades y calidad son a su vez modificadas a través del manejo [44].

De esta manera, idealmente, se podrá caracterizar el área dando un contexto en la medida de lo posible apegado a la realidad ambiental y que refleje las condiciones biofísicas para que en

---

<sup>2</sup> Una opción que puede emplearse para este fin es QGIS ya que cuenta con diversas herramientas analíticas además de que es un software de acceso libre y con código abierto (<http://www.qgis.org/es/site/>)

<sup>3</sup> [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/hidro/chidro/cue250kgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/cue250kgw)

<sup>4</sup> <http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios.php>

<sup>5</sup> <http://www.beta.inegi.org.mx/datos/>

las siguientes etapas se puedan mapear los servicios ecosistémicos asociados al suelo en el área en cuestión, cuantificar los distintos beneficios a los que se habrá de asignar valor e identificar a los actores relevantes.

Seguir la línea analítica del marco SSE resulta de gran ayuda para orientar este diseño metodológico, específicamente en esta primer etapa se pueden incluir las variables correspondientes al subsistema *sistema de recursos* (SR), ya que resulta útil para cubrir las necesidades de información para lograr una caracterización acorde a los objetivos del estudio. Como se aprecia en la tabla 3.1 a la par de este subsistema se incluyen los subsistemas *ecosistemas relacionados* (ECO), *entorno social, económico y político* (E); y *sistema de gobernanza* (SG), es importante señalar que los restantes subsistemas no se consideran en esta etapa ya que servirán de guía en el desarrollo de las siguientes, por otro lado debe señalarse que los criterios utilizados para caracterizar al área de estudio dentro del contexto de los SSE [136], así como en esta investigación no son obligatoriamente consideradas en un orden de importancia ni deben exhaustivamente incorporarse todas ya que esto varía en función del estudio que se realice y del criterio de quien lo lleve a cabo.

Se subraya que mucha de la información que idealmente se necesita es escasa o simplemente no existe, por lo que se tiene que realizar una revisión documental de todas las fuentes disponibles, incluso revisar *la literatura gris*, que es cualquier tipo de documento que no se difunde por los canales ordinarios de publicación comercial, algunos ejemplos son tesis de pre y posgrado, actas de congresos, informes de investigación, memorias, proyectos, patentes, normas, traducciones científicas, documentos de sociedades científicas, boletines, cuadernos de trabajo, informes técnicos, programas de computación, autobiografías, separatas, blogs, y catálogos de productos y servicios de empresas, dosieres, carteles, encuestas y otros documentos más allá de los libros y las revistas indexadas seriadas [109].

Tab. 3.1: Criterios para definir y caracterizar al área de estudio.

<i>SISTEMA DE RECURSOS:</i>	<i>SISTEMA DE GOBERNANZA:</i>
SR1 Sector (e.g. humedal, bosques, pastizal, pesquería)	SG1 Organizaciones de gobierno
SR2 Claridad de los límites del sistema	SG2 Organizaciones no gubernamentales
SR3 Tamaño del sistema de recursos	SG3 Estructura de la red
SR4 Instalaciones construidas por humanos	SG4 Sistemas de propiedad (regímenes/derechos)
SR5 Productividad del sistema	SG5 Reglas de elección operativa
SR6 Propiedades de equilibrio/resiliencia	SG6 reglas de elección colectiva
SR7 Predictibilidad de la dinámica del sistema	SG7 Reglas constitucionales
SR8 Características de almacenaje	SG8 Reglas de monitoreo y sanción

SR9 Ubicación	
<i>(ECO) ECOSISTEMAS RELACIONADOS:</i>	<i>(E) ENTORNO SOCIAL, ECONÓMICO Y POLÍTICO:</i>
ECO1 Patrones climáticos	S1 Desarrollo Económico
ECO2 Patrones de contaminación	S2 Tendencias demográficas
ECO3 Flujos dentro y fuera del SSE	S3 Estabilidad política
	S4 Otros sistemas de gobierno
	S5 Mercados
	S6 Medios de organización
	S7 Tecnología
<i>TIPO DE SUELO:</i>	<i>ESTADO DEL SUELO:</i>
En la tabla 3.3 se presentan algunos tipos de suelo y su capacidad para suministrar servicios ecosistémicos, [65].	Sobre el estado/condición del suelo puede revisarse la tabla 1.6 donde se presenta una descripción básica de algunas de sus propiedades, [167].
<i>COBERTURA DEL SUELO:</i>	<i>USOS DEL SUELO:</i>
Superficies artificiales (incluidas áreas urbanas y áreas asociadas)	Agrícola
Cultivos herbáceos	Forestal
Cultivos leñosos	Tierra utilizada para la acuicultura
Cultivos múltiples o en capas	Uso de áreas urbanizadas y relacionadas
Pastizales	Tierra utilizada para el mantenimiento y restauración de las funciones ambientales
Áreas cubiertas de árboles	Otros usos de la tierra
Manglares	Terreno no en uso
Áreas cubiertas de arbustos	
Arbustos y/o vegetación herbácea, acuática o regularmente inundada	
Áreas con vegetación escasamente natural	
Tierras estériles terrestres	
Nieves y glaciares permanentes	
Cuerpos de agua continentales	
Cuerpos de agua costeros y áreas intermareales	
<i>TIPO DE ECOSISTEMA:</i>	
Urbano	
Tierras de cultivo	
Pastizales	
Brezales y arbustos	
Bosques	
Tierras con escasa vegetación	
Humedales	
Ríos y lagos	
Marino	

FUENTE: basado en McGinnis & Ostrom, 2014 [125]. Tanto los tipos de uso como cobertura del suelo se tomaron del System of Environmental Economic Accounting 2012, [64]. Los ejemplos de ecosistemas se tomaron de La Notte et al., 2017 [110].

---

Recapitulando, los atributos relacionados con el suelo que no pueden faltar son el tipo, estado, cobertura y usos. Hay que precisar que la cobertura del suelo se refiere a la cobertura física y biológica observada de la superficie de la Tierra e incluye vegetación natural y superficies abióticas (no vivas). En su nivel más básico, comprende todas las características individuales que cubren el área dentro de un país. Para efecto de las estadísticas de cobertura del suelo, la zona del país correspondiente incluye solo la tierra y las aguas continentales. El área de aguas costeras está excluida [64].

El uso de la tierra refleja tanto i) las actividades realizadas, como ii) los arreglos institucionales implementados para un área dada para propósitos de producción económica, o el mantenimiento y restauración de funciones ambientales. En efecto, el uso de un área implica la existencia de alguna intervención o gestión humana. Por lo tanto, el uso incluye e.g. áreas protegidas, que están bajo la administración activa de las unidades institucionales de un país con el propósito de excluir la actividad económica o humana de esa área [64]. Sin embargo, no todo el suelo en un país se usa, de acuerdo a la definición anterior. Algunas áreas pueden no estar en uso, aunque pueden ser útiles para apoyar a los ecosistemas y la biodiversidad. Para proporcionar una explicación completa del uso del suelo dentro de un país, debe incluirse tanto el suelo en uso como el que no lo está.

### *Etapa II: Mapeo de servicios ecosistémicos*

En esta etapa se realiza el mapeo de SE, es decir se identifican los flujos ecosistémicos para su posterior clasificación a lo largo de las categorías del marco CICES [36, 85]. A grandes rasgos la identificación de estos flujos va a permitir diferenciar con mayor especificidad entre servicio potencial y servicio real pues como se sabe el capital natural son los stocks de recursos naturales que se encuentran en la tierra, dando lugar a un flujo de servicios ecosistémicos valiosos, en ese contexto el capital natural del suelo es el stock que produce el flujo de SE provenientes de este recurso. Pudiendo distinguir entre la posibilidad de utilización de un servicio, es decir, el suministro potencial de éste (basado en la capacidad funcional natural del suelo) y su uso real [13]. Desde una perspectiva económica, solo las necesidades y demandas humanas convierten realmente un servicio ecosistémico potencial en uno real [26].

Para tener claridad acerca de lo que implica esta etapa se retoma que el CN son los stocks de recursos naturales que se encuentran en la tierra, dando lugar a un flujo de servicios ecosistémicos valiosos, en ese contexto el capital natural del suelo es el stock que produce el flujo de SE provenientes de la infraestructura ecológica del suelo que incluye estructuras y procesos biofísicos en conjunto con las funciones que realiza [98], lo que da origen a los servicios ecosistémicos intermedios (a los que se suele llamar de soporte) de los cuales derivan los servicios los servicios ecosistémicos finales [19], los cuales incluyen a los de provisión, regulación y culturales, y las personas se apropian de ellos en forma de beneficios para disfrutarlos, consumirlos o utilizarlos [68].

Está de más señalar que la información sobre el suelo es fundamental para mapear los servicios ecosistémicos que suministra [82], por lo que idealmente deberá hacerse usando datos de sus funciones y propiedades ya que son determinantes para dicho suministro. En el contexto del valor del suelo tanto el mapeo como las cuantificaciones deben ser transparentes y precisas si se pretende que sean aceptados y aplicados con confianza por los responsables de la toma de decisiones [79]. Sin perder de vista el marco SSE esta etapa se orienta a partir del subsistema *sistema de recursos*.

Este mapeo de servicios ecosistémicos que ciertamente permite identificarlos [123], además tiene como finalidad priorizarlos en términos espaciales y determinar si existen *hotspots* de servicios ecosistémicos. A decir de algunos autores este mapeo puede referirse a identificar áreas en las que el suministro de un SE específico es muy elevado, o bien referirse a áreas en las que convergen y se superponen varios SE al mismo tiempo [27], lo que eventualmente permitiría diseñar e implementar medidas de protección y uso sostenible del suelo [17].

Así, se tiene que los servicios intermedios son los que dan soporte a los restantes servicios y como tales no deben ser valuados monetariamente ya que esto implicaría un doble recuento [19]. Sin embargo, ilustran la inmensa importancia y valor del suelo [98]. La literatura sobre valoración económica se concentra en el papel del suelo en cuatro funciones de soporte diferentes: acervo de biodiversidad; ciclos biogeoquímicos; formación del suelo; y el ciclo hidrológico. De las cuales se originan los SE de provisión, regulación y los culturales asociados al suelo, que se describen en la tabla 3.2.

Tab. 3.2: Descripción de los servicios ecosistémicos que suministra el suelo.

<i>Categoría</i>	<i>Servicio ecosistémico</i>	<i>Descripción</i>
PROVISIÓN	Producción de biomasa cultivada	Los suelos proporcionan nutrientes, agua y soporte físico para la producción de biomasa terrestre que es utilizada por los seres humanos en forma de alimentos, madera, combustible y fibra. El valor de la producción de biomasa se basa frecuentemente en los valores de mercado o en los precios al productor de la misma o de las materias primas en cuestión.  Las funciones de amortiguamiento y filtración del suelo son cruciales para establecer la calidad y cantidad de nuestras reservas de agua subterránea y superficial. El valor del suministro de agua potable se basa a menudo en el costo de limpiar el agua y hacerla adecuada para el consumo humano.
	Materiales	La capa superficial del suelo, la arcilla y la turba son ejemplos de materias primas extraídas del suelo. Los suelos también se consumen directamente y desempeñan un papel importante como fuente de minerales y medicamentos en algunas áreas del mundo.
	Energía	Algunos componentes del suelo pueden usarse como fuentes de energía, e.g. carbón mineral.
REGULACIÓN	Regulación de desechos, contaminantes y otras molestias	Los suelos sanos pueden llevar a cabo el reciclaje de desechos y detoxificación. Los suelos degradan y descomponen la materia orgánica. La textura del suelo y sus cualidades de drenaje son importantes en cuanto a la retención de contaminantes, patógenos y metales pesados. La biota del suelo también desempeña un papel importante en la descomposición de compuestos tóxicos o peligrosos y es una alternativa de bajo costo a la limpieza estándar de la contaminación ambiental después de la excavación y el transporte.
	Regulación de flujos	El suelo tiene la capacidad de regular los flujos de distintos materiales, tanto sólido, líquidos así como de gases también.
	Mantenimiento de las condiciones químicas, físicas y biológicas	Los suelos proporcionan el entorno físico para la construcción de infraestructura humana, también proporcionan el espacio de vida y reproducción adecuado para diferentes especies de flora y fauna

*Cont. tab. 3.2*

CULTURALES	Interacciones físicas e intelectuales con la biota, los ecosistemas y paisajes terrestres	Incluyen varias actividades no comerciales como la estética, la espiritualidad y la educación (e.g. el suelo apoya varios tipos de vegetación en diferentes paisajes que han sido una fuente de influencia estética para los artistas a través del tiempo). Los estudios son sumamente escasos.  Los suelos proporcionan el entorno para las actividades recreativas, por ejemplo ecoturismo y diferentes deportes. El valor recreativo se evalúa comúnmente utilizando el método del costo de viaje. Los estudios de los servicios recreativos del suelo son escasos.
	Interacciones espirituales y simbólicas con la biota, los ecosistemas y paisajes terrestres	Los suelos mantienen los archivos geológico, ecológico y arqueológico. Los estudios sobre estos servicios son los más escasos de todos los descritos.

FUENTE: basado en CICES, 2011 [36] con información de Jónsson & Davíðsdóttir, 2016 [98]

Por otro lado los servicios de provisión incluyen la producción de biomasa y el suministro de agua potable, provisión de materiales (materias primas), y provisión de energía (algunos componentes del suelo pueden usarse para este fin); por su parte los servicios de regulación (o servicios reguladores del capital natural del suelo) que se han valorado son la regulación de desechos, contaminantes y otras molestias, la regulación de flujos, y el mantenimiento de las condiciones químicas, físicas y biológicas. Por último la categoría de servicios culturales agrupa a las interacciones físicas e intelectuales con la biota, los ecosistemas y paisajes terrestres, y las interacciones espirituales y simbólicas con la biota, los ecosistemas y paisajes terrestres. En la literatura de SE existen muchos estudios que analizan los servicios culturales en diferentes ecosistemas [108], pero cuando se trata de servicios culturales asociados al suelo hay muy pocos estudios reportados, exceptuando quizá los recreativos.

El modelo de cascada de SE ofrece un enfoque conceptual para el desarrollo de un marco metodológico para el mapeo de los flujos biofísicos y los valores sociales procedentes de los ecosistemas. También ayuda a identificar y distinguir entre los indicadores de SE, y a evitar malentendidos en la toma de decisiones que puedan surgir con base en resultados variables entre los estudios [118].

Ahora bien, para mapear los servicios ecosistémicos y evaluar la contribución del suelo a los servicios ecosistémicos se pueden emplear tres enfoques [79], que se señalan a continuación; 1) enfoque basado en indicadores, el cual define indicadores que se derivan de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo que sirven como proxies simplificados y unidimensionales para las funciones o la calidad del suelo, 2) enfoque estático: usa reglas empíricas simplificadas para cuantificar las funciones del suelo. Los enfoques estáticos evalúan la capacidad general de un suelo para cumplir

una función específica, pero los impactos del uso de la tierra y las prácticas de manejo de la tierra no se toman en cuenta, aun así este enfoque es particularmente adecuado en la planificación del uso de la tierra para apoyar el uso sostenible del suelo, y 3) enfoques semi-dinámicos o dinámicos, incluyen a los procesos del suelo, el clima y otros factores ambientales específicos del sitio, así como las variaciones temporales y espaciales en el uso del suelo y las prácticas de manejo de la tierra. Incluye modelos biofísicos teniendo en cuenta los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (e.g. modelo del ciclo de nutrientes, ciclo hidrológico y cambio del suelo).

El uso de modelos biofísicos de suelos es, con mucho, el método más demandante de datos y requiere mucho tiempo, ya que recopilar y procesar datos, calibrar los parámetros de medición, mapeo y validación, todos requieren un gran esfuerzo para cada caso de estudio. Sin embargo, una vez que un modelo está calibrado apropiadamente para una región de interés, este es el enfoque más poderoso para modelar los impactos de prácticas de uso y manejo de suelo pasadas y futuras en las funciones del suelo [79].

En general, el enfoque basado en indicadores del suelo y el enfoque estático se centran en el estado de los suelos, y el enfoque dinámico por lo general evalúa las tendencias [79]. Es importante tomar en cuenta que el uso del enfoque ecosistémico permite incorporar ambos enfoques para mapear servicios ecosistémicos [58]. La formulación de políticas relacionadas con SE requiere tanto el estado del suelo como cualquier tendencia a ser evaluada en formas espacialmente explícitas [118, 156]. Tanto el enfoque de estado como el de tendencias pueden usarse si hay suficientes datos disponibles para una región de estudio, pero solo el enfoque basado en indicadores y el enfoque estático son aplicables si los datos son limitados. Se puede encontrar una colección de modelos biofísicos de suelos a través de una plataforma de modelado de suelos [79, c.f. ISMC, 2017].

En su mayoría los estudios sobre mapeo de servicios ecosistémicos asociados al suelo frecuentemente se enfocan en los de provisión, esto debido a que en muchos de estos casos es relativamente fácil hacerlo [14], siendo los indicadores más comunes para modelar servicios ecosistémicos la cobertura vegetal, el uso del suelo, el tipo de suelo, la vegetación y aquellos indicadores relacionados con los nutrientes [119].

Para no partir de cero en el mapeo la tabla 3.3 presenta una calificación generalizada para el suministro de diversos servicios ecosistémicos para distintos tipos de suelo [65]. La cual orienta acerca de la capacidad potencial de los suelos para suministrar SE. En la tabla se califica en escala de 1 a 5 siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta para la capacidad que tiene el suelo para suministrar determinados servicios ecosistémicos. Por ejemplo los suelos clasificados como *histosol*

poseen elevada capacidad para la regulación climática así como la regulación hidrológica, mientras que los clasificados como *antrosol* tienen mayor capacidad para producir biomasa a través de cultivos, para regulación climática, para control hidrológico y para suministrar servicios culturales.

Tab. 3.3: Calificación generalizada para el suministro de servicios ecosistémicos en función del tipo de suelo.

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Producción de biomasa</i>	<i>Regulación climática</i>	<i>Regulación hidrológica</i>	<i>Culturales</i>	<i>TOTAL</i>	<i>Servicios ecosistémicos orientados a</i>
Histosol	2	5	5	3	15	Cambio climático
Antrosol	5	5	5	4	19	Seguridad alimentaria
Tecnosol	1	3	2	4	10	Infraestructura
Criosol	0	5	2	3	10	Cambio climático
Leptosol	1	1	2	1	5	Escurrimiento de agua
Vertisol	4	2	3	1	10	Seguridad alimentaria
Solonet	1	1	1	1	4	Muy poca capacidad
Solonchak	1	1	1	1	4	Muy poca capacidad
Podzol	1	3	1	1	6	Producción de biomasa
Ferralsol	2	4	3	1	10	Producción de biomasa
Nitisol	4	3	4	1	12	Seguridad alimentaria
Plintisol	2	1	2	1	6	Producción de biomasa
Planosol	1	1	1	1	4	Muy poca capacidad
Gleisol	2	1	3	1	7	Seguridad alimentaria
Stagnosol	2	1	3	1	7	Almacenamiento de agua
Andosol	4	3	5	1	13	Seguridad alimentaria
Chernozem	5	4	4	1	14	Seguridad alimentaria
Kastanozem	3	4	2	1	10	Seguridad alimentaria
Feozem	4	4	3	1	12	Seguridad alimentaria
Umbrisol	3	3	3	1	10	Escurrimiento de agua
Durisol	1	1	1	1	4	Muy poca capacidad
Calcisol	1	1	2	1	5	Muy poca capacidad
Gipsisol	1	1	1	1	4	Muy poca capacidad
Retisol	2	1	2	1	6	Producción de biomasa
Acrisol	2	1	2	1	6	Seguridad alimentaria
Lixisol	2	1	2	1	6	Seguridad alimentaria
Alisol	1	1	2	1	5	Producción de biomasa
Luvisol	3	2	2	1	8	Seguridad alimentaria
Cambisol	3	2	3	1	9	Seguridad alimentaria
Regosol	2	1	1	1	5	Producción de biomasa
Arenosol	1	1	1	1	4	Producción de biomasa
Fluvisol	4	2	4	2	12	Seguridad alimentaria
Entisol	0	2	2	1	5	Muy poca capacidad

La ausencia de indicadores adecuados aplicados al suelo es una de las principales barreras metodológicas que se debe superar. La construcción de indicadores tiene como objetivo capturar i) el flujo real en términos físicos, ii) el flujo real en términos monetarios, como primer paso para la estimación del valor del suelo [110]. Básicamente para construir los indicadores se necesitaría información sobre:

- La capacidad potencial del suelo para suministrar SE en forma sostenible en una región dada. Según el potencial de SE, el suelo ofrecerá un flujo anual determinado del servicio (es decir, el flujo potencial). Sin embargo, para algunos servicios, el uso del servicio por encima de la capacidad máxima (es decir, el uso excesivo) puede producir degradación del suelo, poniendo en peligro, por lo tanto, el potencial de proporcionar el servicio en el futuro. De este modo, para aquellos servicios ecosistémicos para los cuales el uso excesivo del servicio puede producir degradación, debe definirse un umbral de sostenibilidad, por encima del cual puede ocurrir la degradación del suelo.
- El uso, es decir el flujo real del servicio que se está utilizando. Esto es el flujo real entregado por unidades ecosistémicas que utilizan directamente las unidades económicas.

A continuación la tabla 3.4 muestra algunos ejemplos de indicadores para mapear servicios ecosistémicos en función de su estatus o de su rendimiento. En la tabla, la columna *criterio* se refiere a algún proceso ecológico, función y/o componente del suelo que proporciona el servicio o que influye en su disponibilidad. El indicador de potencial se refiere al estatus o stock anual, i.e., la presencia del servicio y de ser posible la cantidad total existente o presente. Mientras que el indicador de uso se refiere al rendimiento, i.e., cuánto se puede extraer, usar/proporcionar de manera sostenible.

Cabe señalar que estos ejemplos son una adaptación de información generada en otro contexto de análisis, pues como se ha venido mencionando la información acerca del suelo es relativamente escasa. Se debe considerar el uso de proxies, en los casos que sea posible, para mapear los servicios ecosistémicos asociados al suelo.

Tab. 3.4: Ejemplos de indicadores para mapear servicios ecosistémicos en función de su estatus y su desempeño.

<i>Categoría</i>	<i>Servicio ecosistémicos</i>	<i>Ejemplo</i>	<i>Criterio</i>	<i>Indicador de potencial</i>	<i>Unidad</i>	<i>Indicador de uso</i>	<i>Unidad</i>
Provisión	Producción de biomasa	Cultivos	Presencia de plantas comestibles	Stock total o promedio	kg/ha	Productividad neta	kcal/ha/año
		Agua	Presencia de depósitos de agua	Cantidad total de agua	m <sup>3</sup> /ha	Extracción máxima sostenible de agua	m <sup>3</sup> /ha/año
	Materiales	Fibras, combustibles u otras	Presencia de especies o componentes del suelo con uso real o potencial	Cantidad total	kg/ha	Productividad neta	kg/ha/año
		Materiales genéticos: genes con algún uso potencial (e.g. resistencia a patógenos de plantas)	Presencia de especies con material genético (potencialmente) útil	# de especies	#	Cosecha máxima sostenible	kg/ha/año
		Productos bioquímicos y recursos medicinales	Presencia de especies o componentes abióticos con productos químicos y/o uso medicinal potencialmente útiles	Cantidad total de sustancias útiles que se pueden extraer	kg/ha	Cosecha máxima sostenible	kg/ha/año
Especies ornamentales y/o recursos	Presencia de especies o recursos abióticos con uso ornamental	Biomasa total	kg/ha	Cosecha máxima sostenible	kg/ha/año		
Regulación	Regulación de desechos y contaminantes	Tratamiento de desechos	Papel de la biota y los procesos abióticos en la eliminación o descomposición de la materia orgánica, nutrientes xenicos y compuestos	Desnitrificación; Inmovilización en suelo	kg de N	Cantidad máxima de sustancias químicas que pueden reciclarse o inmovilizarse de forma sostenible	kg de N/ha/año
		Regulación biológica	Control de poblaciones de plagas a través de relaciones tróficas	Número e impacto de las especies de control de plagas	#	Reducción de enfermedades humanas, plagas de animales vivos, etc.	%

*Continuación*

	Regulación de flujos	Regulación de la calidad del aire (e.g. capturando partículas de polvo)	Capacidad del suelo para extraer aerosoles y productos químicos de la atmósfera	Índice de fijación de NOx-, etc.	%	Cantidad de aerosoles o productos químicos <i>extraídos</i> - efecto en la calidad del aire	Volumen
	Regulación climática	Influencia del suelo en el clima local y global a través de la cobertura terrestre y procesos mediados biológicamente	El balance de gases de efecto invernadero (especialmente el secuestro de C); Características de la cobertura de la tierra, etc.	Cantidad de gases de efecto invernadero, etc. fijados y/o emitidos con efecto sobre los parámetros climáticos	Volumen	Cantidad de gases retenidos por el suelo	Volumen
	Mantenimiento de las condiciones químicas, físicas y biológicas	Hábitat o refugio	Importancia del suelo para proporcionar hábitat para la reproducción, cría, alimentación o descanso para especies transitorias	Superficie que presta el servicio	ha o %	Dependencia de otros ecosistemas o <i>economías</i> sobre este servicios de hábitat	Cualitativo
Protección del pool genético	Mantenimiento del balance ecológico	Biodiversidad natural (especialmente especies endémicas)	Biota del suelo	Integridad del hábitat (tamaño mínimo crítico)	ha	<i>Valor ecológico</i> , es decir, diferencia entre el valor real y potencial de la biodiversidad	\$
			Polinización	Abundancia y efectividad de los polinizadores	#	Dependencia de cultivos en polinización natural	Cualitativo
			Formación y regeneración del suelo	Papel de los procesos naturales en la formación y regeneración del suelo, e.g. bioturbación	Cualitativo	Cantidad de tierra vegetal (re)generada	ha/año
			Protección contra la erosión	Papel de la vegetación y la biota en la retención del suelo Cobertura vegetal	ha	Cantidad de suelo retenido o sedimento capturado	ha o kg/ton

*Continuación*

Culturales	Interacciones físicas e intelectuales con la biota, los ecosistemas y paisajes terrestres	Características con valor/interés educativo y científico especial	Presencia de características con valor / interés educativo y científico especial	Cualitativo	Número de clases visitando. Número de estudios científicos, etc.	#
		Calidad estética del paisaje, basada en diversidad estructural, <i>verdor</i> , tranquilidad	Número/área con características del paisaje con apreciación declarada	#	Valor estético expresado, por ejemplo en número de casas que bordean áreas naturales # usuarios de <i>rutas escénicas</i>	\$ o #
		Características del suelo que hagan atractivo el paisaje	Número/área de características de paisaje y vida silvestre con valor recreativo declarado	# o ha	Valor declarado o cantidad máxima sostenible de personas e instalaciones	\$ o #
		Características del paisaje o especies con valor inspirador para las artes humanas, etc.	Número/área de características del paisaje o especies con valor inspirador	# o ha	Libros, pinturas, etc. que utilizan al suelo de los ecosistemas como inspiración	#
	Interacciones espirituales y simbólicas con la biota, los ecosistemas y paisajes terrestres	Características del paisaje o especies con valor espiritual y religioso	Presencia de características del paisaje o especies con valor espiritual	Cualitativo	Número de personas que atribuyen importancia espiritual o religiosa a los ecosistemas	#
		Características o especies del paisaje simbólicamente importantes	Número/área de características o especies paisajísticas simbólicamente importantes	# o ha	Número de personas que atribuyen al suelo importancia simbólica	#

FUENTE: elaborada a partir de De Groot *et al.*, 2010 [53], y Crouzat *et al.*, 2015 [45].

Tab. 3.5: Criterios que pueden usarse para mapear servicios ecosistémicos asociados al suelo.

<i>Criterio</i>	<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>
Tipo de SE	Provisión	Productos obtenidos de ecosistemas, como agua, alimentos, fibra, etc.
	Regulación	Propiedades emergentes de los ecosistemas que regulan las condiciones ambientales en las que viven los seres humanos (e.g. regulación del clima, ciclos hidrológicos, calidad del agua)
	Culturales	Los beneficios tangibles e intangibles derivados de la relación entre el hombre y el ecosistema, como la recreación, la belleza escénica, etc.
	Intermedios	Procesos básicos del ecosistema que mantienen la generación de todos los demás servicios (por ejemplo, formación de suelos, polinización, ciclo de nutrientes)
Fuente de datos	Primaria	Son datos derivados de trabajo de campo que pueden ser mapas (cartográficos) derivados de muestreo, inventarios forestales, encuestas, datos de campo, entrevistas y datos censales.
	Secundaria	Deriva de información fácilmente disponible que generalmente no se verifica en el campo (e.g. imágenes de sensores remotos, datos cartográficos, datos socio-económicos y fuentes mixtas como bases de datos y estadísticas).
Tipo de datos	Biofísicos	tales como cobertura terrestre, imágenes de teledetección, datos topográficos, hidrológicos y climáticos.
	Socioeconómicos	tales como mapas de carreteras, mapas de población, fotos y datos censales
	Mixta	como bases de datos, estadísticas, bibliografía, entrevistas, encuestas y datos de campo.
Escala	Local	100 - 1000 km <sup>2</sup>
	Regional	1,000 - 100,000 km <sup>2</sup>
	Nacional	100,000 - 1,000,000 km <sup>2</sup>
	Global	> 1,000,000 km <sup>2</sup>
Técnica de mapeo	Tablas de búsqueda (TBU)	Este enfoque hace uso de los valores de servicios ecosistémicos existentes en la literatura y los aplica a las clases de cobertura de tierra en otros dominios espaciales.
	Consulta a expertos	Los expertos clasifican los tipos de cobertura de la tierra en función de su potencial para proporcionar servicios ecosistémicos específicos. Este método se basa en el conocimiento que los expertos pueden tener sobre el potencial de las categorías de cobertura de la tierra en una ubicación específica para suministrar los servicios de los ecosistemas. A menudo, este enfoque se integra con el enfoque TBU.

Cont. tab. 3.5

Relación causal	Este enfoque incorpora el conocimiento existente sobre cómo diferentes capas de información (generalmente datos secundarios) se relacionan con los procesos y servicios del ecosistema para crear una nueva capa proxy de los servicios del ecosistema. Esto incluye métodos que utilizan variables espaciales tales como relaciones de distancia (por ejemplo, carreteras), cantidad de un tipo de tierra (por ejemplo, áreas protegidas o áreas forestales), datos de cobertura de la tierra, densidad de población, datos climáticos, datos del suelo, elevación. Las relaciones causales usualmente se toman de la literatura, el conocimiento experto o se derivan empíricamente sobre la base de los datos observacionales disponibles; luego, las variables espacialmente explícitas se integran utilizando herramientas de modelado GIS para producir una nueva capa proxy (mapa) de los servicios del ecosistema.
Modelos estadísticos y <i>machine learning</i>	Este enfoque emplea datos de campo (datos primarios) de servicios de ecosistemas para modelar la relación con variables explicativas y proxies, p. datos biofísicos y otras fuentes de información obtenidas de GIS. Una de las fortalezas de este enfoque es la capacidad de proporcionar medidas de error / precisión, en algunos casos de una manera espacialmente explícita.
Modelado implícito	Este enfoque utiliza funciones de valor que relacionan la variación en los valores de los servicios del ecosistema con la variación en las características del ecosistema, el contexto y los beneficiarios de los servicios. Los valores de los parámetros de nivel local se ingresan en la función de valor para extrapolar el valor a otros sitios del área de estudio con información de valor desconocido.  Este enfoque es común en estudios del ámbito de la economía ambiental (e.g., para el mapeo de servicios culturales, pero no solo).
Muestreo representativo	Este enfoque ofrece la mejor estimación de los niveles observados de servicios ecosistémicos. Sin embargo, los estudios basados en este enfoque son limitados debido a los altos costos y la dificultad para recopilar la gran cantidad de datos requerida.

FUENTE: Martínez-Harms & Balvanera, 2012 [123], y Barredo *et al.*, 2015 [12].

La tabla 3.5 muestra algunos criterios que pueden ser útiles para mapear servicios ecosistémicos asociados al suelo. Incluye desde los que toman en consideración el tipo de SE, la fuente de datos que puede emplearse, el tipo de datos por ejemplo si toman en consideración la información sobre el suelo, la escala y la técnica de mapeo.

Es evidente que la diversidad de técnicas de mapeo es considerable, cada una con características específicas. Una consecuencia de esta diversidad de enfoques, métodos y datos es que los tomadores de decisiones y los usuarios de esta información, podrían fácilmente quedar sumergidos por la complejidad de las metodologías y la dificultad para transmitir información útil.

Sin embargo es recomendable revisar los trabajos que se ha hecho al respecto, así sobre ejemplos de mapeo de SE pueden consultarse Martínez-Harms & Balvanera, 2012 [123], y Barredo *et al.*,

2015 [12]. Además como ejemplo de mapeo de suelos se encuentra Arrouays *et al.*, 2017 [5], mientras que algunos ejemplos sobre mapeo y cuantificación de servicios ecosistémicos asociados al suelo son Banwart *et al.*, 2017 [9], Jónsson *et al.*, 2017 [100] y Makovnikova *et al.*, 2017 [119].

Algunas vías para obtener la información para mapear servicios ecosistémicos pueden ser la categorización de los SE por medio de estudios empíricos o bien por medio de cartografía de las áreas de cobertura y zonas ecológicas (geografía física, ecología, ciencias del suelo, ciencias del paisaje, etc.), consulta a los actores relevantes (usuarios), identificación de los diferentes flujos ecosistémicos existentes (mapeo y trayectoria de los SE), análisis multicriterio para identificar servicios ecosistémicos importantes (identificación de áreas prioritarias y áreas críticas). Por otra parte algunas herramientas que pueden emplearse para el mapeo de servicios ecosistémicos son:

ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services), herramienta basada en tecnologías Web, desarrollada en la Universidad de Vermont, EEUU, tiene como objetivo fundamental ofrecer un soporte inteligente para la evaluación y valoración de SE, facilitando y mejorando la toma de decisiones ambientales.

ECOSER (Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socioecológica para el ordenamiento territorial), desarrollado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, el CONICET y otras instituciones.

SolVES (Social Values of Ecosystem Services), es una herramienta desarrollada por el USGS Rocky Mountain Geographic Science Center y Colorado State University, constituida para la valoración social de SE, la cual permite efectuar una estimación complementaria a la evaluación económica y resalta la información primaria obtenida a partir de grupos de interés. Al igual que InVEST, permite alojarse y desarrollar modelaciones con ArcGIS. La aplicación permite evaluar, mapear y cuantificar el valor social percibido de los SE, a través de un índice de valor no monetario y se alimenta fundamentalmente de datos recolectados mediante encuestas a diferentes actores sociales. Ante la necesidad de incorporar estimaciones espacialmente explícitas del valor social esta herramienta resulta muy útil. Considerando que muchas veces no son percibidos en particular los servicios culturales, tales como la estética y la recreación [166].

InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs), se trata de un proyecto iniciado en el 2006 por el Natural Capital Project (universidades de Stanford y de Minnesota, The Nature Conservancy, WWF), es un conjunto de herramientas que se ejecutan de manera independiente, las cuales son desarrolladas para trabajar sobre la suite de ArcGIS, y permiten el

mapeo y valoración de diversos SE, proporcionando como insumo fundamental la espacialización de flujos, beneficios y análisis de compromisos bajo múltiples escenarios simulados, posibilitando así su objetivo principal: informar y mejorar la gestión de los recursos naturales y las decisiones de inversión.

QGIS<sup>6</sup> que es un software de acceso libre, útil ya que cuenta con los algoritmos SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) para realizar análisis de suelos, los cuales pueden aportar información relevante aplicando las debidas correcciones y calibrando los modelos utilizados.

R<sup>7</sup> también un software de acceso libre, extremadamente útil y recientemente usado en el contexto del MDS, para una descripción detallada de su uso puede revisarse Malone *et al.*, 2017 [121].

Finalmente entre las opciones que pueden servir de fuentes de datos sobre suelos se puede mencionar al INEGI, que cuenta con la carta de Uso Potencial del suelo<sup>8</sup>. Asimismo el Servicio geológico de Estados Unidos<sup>9</sup> cuenta con datos para realizar estimaciones y plantear modelos para analizar suelos. En cuanto a la descarga de imágenes satelitales por ejemplo puede usarse EOS<sup>10</sup>, para obtener información espacial tanto el INEGI<sup>11</sup> como la CONABIO<sup>12</sup> son referentes obligados.

---

<sup>6</sup> <http://qgis.org/en/site/about/index.html>

<sup>7</sup> <https://www.r-project.org/>

<sup>8</sup> <https://www.r-project.org/>

<sup>9</sup> <https://www.usgs.gov/>

<sup>10</sup> <https://lv.eosda.com/?lat=19.25632&lng=-99.05441&z=15&s=Landsat8>

<sup>11</sup> <http://www.beta.inegi.org.mx/datos/>

<sup>12</sup> [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis root/hidro/chidro/cue250kgw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis%20root/hidro/chidro/cue250kgw)

### *Etapa III: Cuantificación de beneficios*

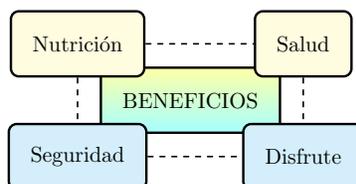
Con la información sobre los servicios ecosistémicos presentes en el área de estudio se tendrá una idea clara acerca de los beneficios que se derivan de ellos para proceder a cuantificarlos en esta etapa. Sin duda la cuantificación significa un gran reto dentro de los estudios sobre servicios ecosistémicos y no debe asumirse que constituye a la valoración en sí misma [154], pero es uno de los aspectos más relevantes y representa una etapa que antecede a la asignación de valor.

Cabe recordar que los servicios ecosistémicos y los beneficios no son lo mismo [19, 68] y en lo que respecta a los asociados al suelo y sus beneficios derivados se aplica el mismo razonamiento. Los beneficios tienen un impacto positivo explícito en el bienestar de las personas [68], por lo tanto se puede establecer que los beneficios se derivan de una serie de procesos e interacciones que en conjunto los generan y que requieren de insumos para ser apropiados, e.g. en el caso de la agricultura además de la contribución ecosistémica para la producción de biomasa se requiere de insumos para su cosecha y traslado. En ese sentido un SE puede generar más de un beneficio, continuando con el ejemplo del servicio de producción de biomasa, en el contexto de la agricultura los beneficios pueden ser productos alimenticios que tienen impactos en la nutrición, o biocombustibles que pueden tener impactos en el disfrute u otros aspectos considerados dentro del bienestar de las personas, sin embargo la producción de biomasa en el contexto de los servicios culturales genera otro tipo de beneficios tales como la belleza escénica o beneficios cognitivos ya que el suelo puede ser visto como una especie de documento histórico o geológico. También en el caso de la producción de biomasa utilizada para la nutrición, un ejemplo de servicio dado es el volumen cosechable de bayas silvestres y un beneficio asociado sería la cantidad de mermelada producida [85]. Otros ejemplos de beneficios son los que generan el control de la erosión que no solo evita la pérdida de suelo sino que además incide sobre la calidad del agua [153].

El uso de los servicios finales (provisión, regulación y culturales) resultan en un beneficio y los beneficios contribuyen al bienestar humano [110]. Los servicios son conceptualmente diferentes de los beneficios porque aquello que se considera como servicios aún forma parte del ecosistema que los genera. Para que el beneficio se realice se necesita alguna transformación por acción humana o perspectiva que se encuentre fuera de ese ecosistema [85].

La figura 3.2 permite visualizar los principales tipos de beneficios que se derivan de los servicios ecosistémicos, en esta esquematización estándar se asume que el bienestar se compone de beneficios que tienen impactos en la nutrición, la salud, la seguridad y el disfrute de las personas [110].

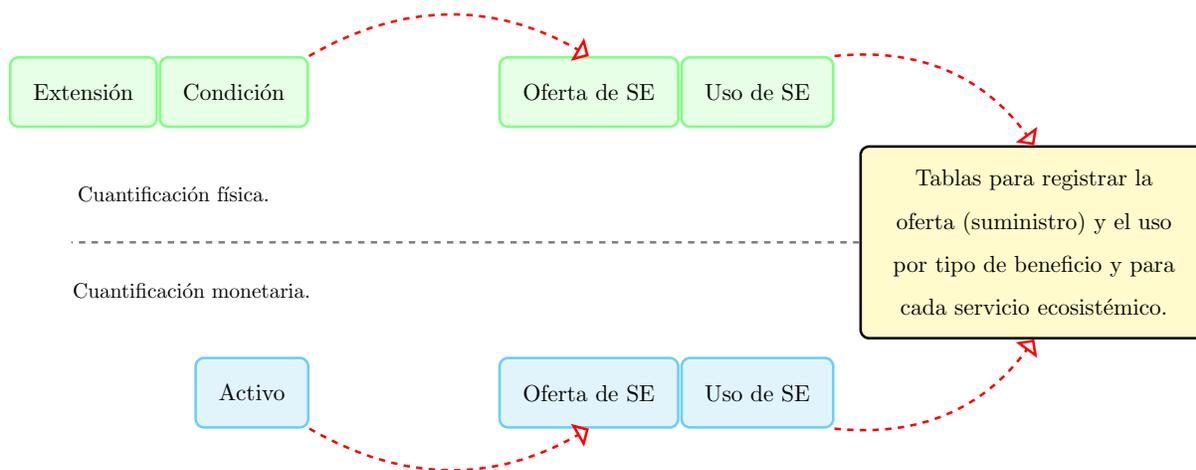
Fig. 3.2: Principales tipos de beneficios derivados de los servicios ecosistémicos.



FUENTE: elaborado a partir de La Notte *et al.*, 2017 [110, pág 15].

Continuando sobre la línea analítica de los SSE a partir de esta etapa servirá como guía el sub-sistema *unidades de recursos* que incluye variables como número de unidades de recurso, marcas distintivas, valor económico, movilidad de las unidades de recursos, tasa de crecimiento o reemplazo, interacción entre unidades de recursos y distribución espacio-temporal, cuyo aporte permite cuantificar beneficios para proceder a asignarles valor en la siguiente etapa. Con esa finalidad la figura 3.3 intenta orientar acerca de cómo cuantificar los beneficios en términos físicos y monetarios.

Fig. 3.3: Esquema para orientar la cuantificación en términos físicos y monetarios de beneficios provenientes de los servicios ecosistémicos asociados al suelo.



FUENTE: elaborado a partir de La Notte *et al.*, 2017 [110, pág 12].

La cuestión de cómo cuantificar los diferentes servicios es importante, y debe tenerse en cuenta que las unidades de medición generalmente no se proporcionan dentro de las definiciones de los beneficios. Además puede ser posible cuantificar un servicio determinado de varias maneras diferentes, a veces utilizando medidas proxy donde la medición directa no es posible [85]. Lo cierto es que independientemente de la clasificación, todos los servicios ecosistémicos generan algún beneficio, la tabla 3.6 presenta algunos ejemplos de ellos, derivados del suelo con la finalidad de señalar de qué componente o función del suelo surgen.

Tab. 3.6: Ejemplos de beneficios derivados de los distintos servicios ecosistémicos suministrados por el suelo.

<b>SERVICIOS DE PROVISIÓN</b>			
<i>Uso primario</i>	<i>Uso secundario</i>	<i>Componente del suelo</i>	<i>Beneficio</i>
Construcción	Protección (térmica) de la Tierra	Suelo a granel	Control térmico en estructuras
	Rellenos sanitarios	Suelo a granel	Cubierta diaria de los desechos vertidos
		Arcilla	Barrera aislante para rellenos sanitarios
	Material de acuario	Arena y grava	Material base y sustrato
	Arrecifes artificiales	Arena	Soporte para nuevos arrecifes
	Renovación de playas	Arena	Reemplazar la playa perdida debido a la erosión
	Superficie de la carretera	Grava	Construcción vial
	Pasillos y entradas	Grava	Pisos en hogares y negocios
	Hormigón	Arena y grava	Elaboración de concreto
	Fabricación de ladrillos	Arena	Construcción de viviendas
Núcleos de presas	Arcilla	Construcción de presas	
Bienes raíces		Suelo entero	Producción de commodities
Paisajismo	Mantillo o acolchado	Paja de pino	Mantillo o acolchado
	Sustitución del suelo	Tierra vegetal	Base para hierba o jardines
	Tierra para macetas	Tierra vegetal	Flores y jardines, tierra para macetas
	Turba		
	Vermicomposta	Lombrices de tierra	Jardinería y mejoramiento del suelo
Utensilios de cocina, cerámica y escultura	Platos	Arcilla y caolín	Loza, gres, porcelana
	Cerámica	Arcilla y caolín	Industria de la cerámica
	Pipas	Caolín	Fumar
	Terracota	Caolín	Tejas, baldosas, azulejos de la pared (e.g. ejército de terracota de Xi'an China)
Combustible		Turba	Calefacción y cocina
Industrial	Recubrimiento de papel	Arcilla	Fabricación de papel
	Blindaje de calor	Arcilla	Transbordador espacial
	Aislamiento	Arcilla	Control de temperatura

Continuación de la tabla 3.6

Arenado o chorro abrasivo	Arena	Limpieza de superficies
Vidrio	Arena de sílice	Productos de vidrio
Pinturas	Arena	Textura de pinturas y esmaltes
	Atapulgita o palygorskita	Espesante de pintura de látex / agente gelificante Agente de aplanamiento, aplastante o matificante
Moldes de fundición	Arena	Moldes para productos
Pasta dental	Arena	Higiene
Filtros	Arena y arcilla	Purificación de agua y aire
Fluidos de perforación de pozos de petróleo	Atapulgita y bentonita	Lubricante, lodo para impermeabilizar las paredes perforadas
Absorbentes /adsorbentes	Atapulgita y bentonita	Ropa de cama para animales/arena para gatos
		Absorbente farmacéutico
		Adsorbente cromatográfico
		Secado de aceites
Abrasivos	Atapulgita o palygorskita	Agente de suspensión para abrasivos
Agentes adhesivos de dentina	Atapulgita o palygorskita	Granulación de polvos
Lavado	Atapulgita o palygorskita	Polvos de lavandería
Estabilizadores	Atapulgita o palygorskita	Estabilizadores de emulsión de cera
Uso agrícola	Atapulgita o palygorskita	Antiaglutinante para nitrato de amonio, etc.
		Movilizador de productos químicos agrícolas granulados y en polvo (pesticidas)
Catalizador	Atapulgita o palygorskita	Polimerización de olefinas
Partes electrónicas	Sílice	Transistores
		Celdas fotovoltaicas
		Circuitos de computadora
Usos diversos	Sílice	Aleaciones para resistir el óxido (anticorrosivos)
		Vidrio, cerámica
		Abrasivos
		Sistemas de filtración de agua
		Rellenos cosméticos
		Insecticidas

Continuación de la tabla 3.6

			Papel
Medicinal	Antibióticos	Microorganismos	Penicilina, estreptomicina, etc.
	Antidepresivos	Microorganismos	Salud humana
	Quimioterapias	Microorganismos	Salud humana
	Antidiarreicos	Arcilla	Para combatir la diarrea causada por bacterias en animales y humanos
	Absorbente	Caolín	Agente de secado para erupciones exudativas
	Pruebas de sangre	Caolín	Prueba de tiempo de coagulación de caolín
Productos alimenticios	Carnada para peces	Lombrices de tierra	Fuente de proteína y vitamina
	Consumo humano	Lombrices de tierra y otros invertebrados del suelo	Fuente de proteína y vitaminas en algunas culturas
		Arcilla	Geofagia

### SERVICIOS DE REGULACIÓN

<i>Servicio específico</i>	<i>Beneficio específico</i>	<i>Organismos</i>	<i>Actividades específicas del organismo</i>
Infiltración y almacenamiento de agua	Almacenamiento de agua	Lombrices, hongos y bacterias	Formación de macroporos, formación de agregados del suelo
	Purificación del agua	Bacterias que respiran nitrato, bacterias y hongos degradadores de contaminantes, bacterias oxidantes y reductoras de metales (e.g. oxidantes de sulfato, <i>Geobacter metallireducans</i> )	Reducción disimilatoria de nitrato, co-metabolismo y mineralización de contaminantes orgánicos, reducción de sulfato y posterior precipitación de metales, respiración y precipitación de metales
Control de la erosión	Estabilización del suelo	Raíces, hongos y bacterias	Producción de pegamentos biológicos, agregado físico por raíces e hifas fúngicas
Captura de carbono ( $CO_2$ ) y regulación de gases de efecto invernadero	Descomposición de la hojarasca y formación de materia orgánica del suelo	Fauna, hongos y bacterias heterotróficas	Fragmentación y descomposición de los desechos, estabilización física y química del carbono residual
	Producción y consumo de $CH_4$	Arqueo-bacterias metanógenas y bacterias metanótrofas	Producción de metano por metanógenos, oxidación de metano por metanótrofos
	Producción y consumo de $N_2O$ y $NO$	Bacterias y hongos nitrificantes y desnitrificantes	Nitrificación quimioautotrófica, nitrificación heterotrófica, desnitrificación y co-desnitrificación

Continuación de la tabla 3.6

Apoyo para cultivos	Ciclo de nutrientes	Fauna, hongos y bacterias	Mineralización de nitrógeno, fósforo y azufre, nitrificación, biodepuración de fósforo mineral, oxidación de azufre
	Promoción del crecimiento de los cultivos	Bacterias y hongos rizosféricos benéficos	Producción de hormonas para el crecimiento vegetal, simbiosis (hongos micorrízicos y bacterias fijadores de $N_2$ ), control de patógenos, control del estrés por degradación de etileno (bacterias ACC-desaminasa positiva)

### SERVICIOS CULTURALES

<i>Tipo de beneficio</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplos</i>	<i>Referencia</i>
Terapéutico	El suelo suministra medicamentos, aporta aire limpio, mejora la calidad del agua, aporta espacio para la recreación y los deportes al aire libre, el suelo en sí mismo está asociado a los efectos terapéuticos generales que la naturaleza tiene en el bienestar tanto mental como físico de las personas	1) Servicios de salud. 2) Efectos restauradores y regeneradores en las personas. 3) Beneficios socioeconómicos por mejorar las condiciones de salud y al mismo tiempo de reducir los costos en salud.	De Groot <i>et al.</i> , 2003; Brown, 2005; Turner <i>et al.</i> , 2003
Amenidades	Importancia del suelo para el desarrollo cognitivo, la relajación mental, la inspiración artística, el disfrute estético y los beneficios recreativos	1) Calidad estética de paisajes. 2) Uso recreativo. 3) Uso artístico	de Groot <i>et al.</i> , 2003; Brown & Reed, 2000
Patrimonio	Importancia del suelo como documento histórico del paisaje, así como referente para la historia personal o colectiva y la identidad cultural, también con fines educativos	1) Sitios y características históricas. 2) Rol en paisajes culturales. 3) Tradiciones culturales y conocimiento. 4) Educación	de Groot <i>et al.</i> , 2003; Brown & Reed, 2000

Continuación de la tabla 3.6

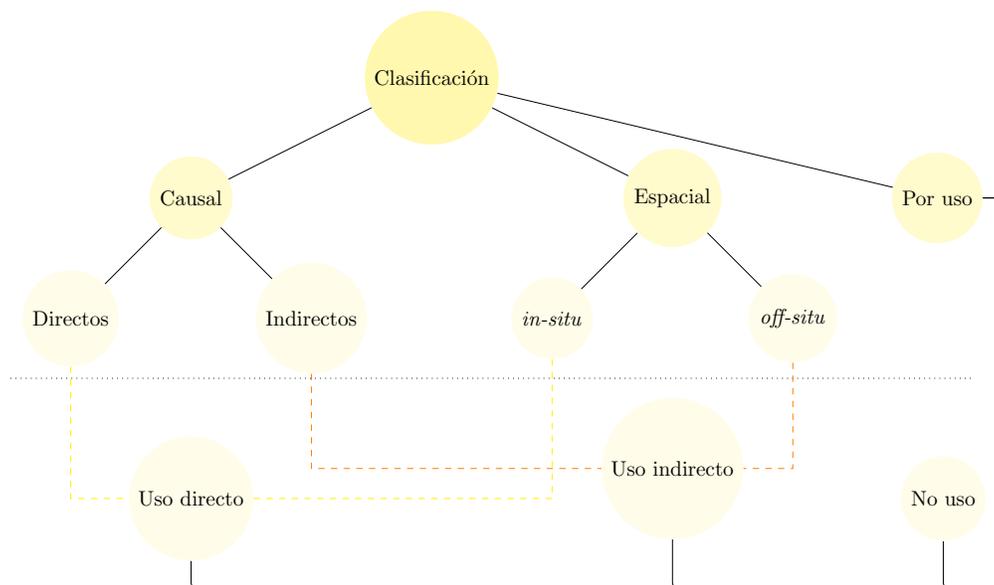
Oportunidades económicas	El suelo proporciona y forma parte de las condiciones necesarias para que existan los lugares de trabajo, para que las personas obtengan ingresos, y en general para generar oportunidades económicas	1) Provisión de lugar de trabajo, ingresos, oportunidades económicas	Brown & Reed, 2000
Espiritual	El suelo posee importancia simbólica y se relaciona con elementos que tienen significado sagrado y religioso	1) Sitios sagrados y características. 2) Papel del suelo en ceremonias religiosas y textos sagrados	de Groot <i>et al.</i> , 2003; Brown & Reed, 2000
Existencia	Importancia para las personas porque obtienen satisfacción moral mediante la conservación del suelo (valor intrínseco)	1) Expresado (a través de donaciones, trabajo voluntario, etc.) o preferencia declarada por la protección de la naturaleza. 2) La satisfacción moral a través de la conservación y el efecto <i>warm-glow</i>	de Groot <i>et al.</i> , 2003; Brown & Reed, 2000; Turner <i>et al.</i> , 2003; Kahneman & Knetsch, 1992
Opción	Importancia que las personas asignan a tener la opción de usar los servicios ecosistémicos derivados del suelo en el futuro, dentro de sus propias vidas	1) Comodidad de tener la opción de utilizar los servicios del ecosistema en un momento posterior de sus vidas	de Groot <i>et al.</i> , 2010
Legado	Importancia que las personas le otorgan al suelo para la equidad intergeneracional	1) Comodidad de saber que los servicios ecosistémicos estarán disponibles para las generaciones futuras	Brown & Reed, 2000

FUENTE: los ejemplos de beneficios derivados de servicios de provisión se tomaron de Comerford *et al.*, 2013 [37] y Stromberger *et al.*, 2015 [174]. Los ejemplos de beneficios derivados de servicios de regulación se tomaron de Comerford *et al.*, 2016. En cuanto a los beneficios sociales derivados de servicios culturales los ejemplos son una adaptación de Schmidt *et al.*, 2016 [160], que se identificaron en otro contexto, en tanto que el suministro de SE culturales está soportado por los de regulación y provisión [51, 110], los beneficios que se derivan de ellos tienen esa misma característica y evidentemente se trata de construcciones sociales.

Ahora bien, es necesario establecer una tipología para los beneficios, a grandes rasgos se busca clasificarlos integrando y tomando como base la información obtenida. La figura 3.4 esquematiza las categorías en las que se pueden clasificar. Como se aprecia, para ir aterrizando la manera en que se cuantifiquen los beneficios, puede integrarse la clasificación causal y la espacial en una clasificación basada en el uso quedando tres categorías que en algún sentido representan mayor facilidad al momento de presentar los resultados [110, c.f.].

Así la categoría de beneficios de uso directo puede agrupar a los beneficios directos y a los beneficios *in-situ*, la categoría de beneficios de uso indirecto incluiría a los beneficios indirectos y a los beneficios *off-situ*, y la categoría de beneficios no basados en el uso incluiría aquellos que no caben en algunas de las dos primeras.

Fig. 3.4: Categorías para clasificar beneficios provenientes del suelo.



FUENTE: adaptado y modificado a partir de Görlach *et al.*, [77, pág 44].

De esta manera se tienen una categoría causal, una espacial y una más basada en el uso, que pueden servir para clasificar los beneficios que suministra el suelo, a continuación se describe cada una de ellas:

- Clasificación espacial: de acuerdo a dónde se realiza la apropiación de los beneficios, en beneficios *in situ* y *off situ*. Esta distinción en el contexto económico, es fundamental, teniendo en cuenta el hecho de que los beneficios económicos se acumulan tanto *in situ*, donde se producen, como *off situ*, en zonas alejadas espacialmente y además su acumulación se pueden retrasar temporalmente. Los beneficios *in situ*, son más evidentes y relativamente fáciles de percibir,

ya que se generan directamente de los usos del suelo que se llevan a cabo, tales como la agricultura, la silvicultura o actividades recreativas, tienden a ser más inmediatos en comparación con los beneficios *off situ*. Los beneficios *off situ* pueden dar cuenta de una proporción considerable del valor económico total del suelo; sin embargo, puede ser difícil cuantificarlos con precisión en qué forma están relacionados con la calidad del suelo; pueden dividirse en beneficios regionales y globales. Los efectos regionales se producen en las proximidades del SSE.

- **Clasificación causal:** de acuerdo a los valores que suministran en beneficios directos e indirectos. Los beneficios directos son aquellos que directamente se derivan de la capacidad funcional del suelo observada con relativa facilidad ya que se originan de servicios ecosistémicos de provisión, su impacto económico se percibe casi de inmediato. Los beneficios indirectos, por el contrario, indirectos, por el contrario, resultan de las respuestas de los usuarios del suelo que surgen de interacciones sociales, este tipo de beneficio no es muy evidente e inmediato, pueden surgir derivado de servicios de regulación o culturales, por ejemplo los beneficios que el control de la erosión genera para los agricultores evitando que abandonen las tierras de cultivo, evitando con ello que se tenga que degradar un hábitat natural o semi-natural en otras áreas.
- **Clasificación basada en el uso:** incluye a los beneficios de uso directo (BUD): se trata de los beneficios acumulados por usar directamente al suelo y lo usuarios se apropian de ellos *in situ*. Un ejemplo de esto es el rendimiento que los agricultores obtienen si la productividad agrícola del suelo aumenta a causa de buenas prácticas de gestión, o en caso contrario cuando las medidas implementadas hacen que la productividad aumente debido al control de la erosión, compactación u otros procesos de deterioro. O bien se generan por establecer medidas de prevención y/o reparación para conservar la calidad del suelo o para evitar su degradación. Esto incluye, por ejemplo, el beneficio a partir de la entrada de fertilizante adicional para compensar el impacto de la erosión, o los beneficios por implementar medidas para restablecer la estructura física de los suelos compactados. Beneficios de uso indirecto (BUI): este tipo de beneficios suministrados por el suelo abarcan un grupo más amplio de usuarios, no se derivan del uso directo del suelo, por lo que la apropiación de los mismos no tiene que ocurrir necesariamente en el lugar donde se generan. Un ejemplo son los beneficios obtenidos por la prevención de daños causados por las inundaciones y deslizamientos de tierra. También se

incluye el valor de los beneficios no percibidos, como el mantenimiento de la biodiversidad o el secuestro de carbono, que se aumentan a través del mejoramiento de la calidad del suelo. Asimismo se generan en otras partes y benefician a un grupo más amplio de usuarios, surgen de mitigar o limitar los impactos *off situ* por la degradación del suelo. Pueden ser beneficios derivados de las medidas de conservación de suelos para evitar deslizamientos de tierra, o para retener el suelo en el sitio. Finalmente, beneficios no relacionados con el uso (BNU): pueden ser de apropiación *in situ* u *off situ*, las personas se apropian de dichos beneficios incluso aquellas que no utilizan el suelo, o no es necesario estar en el área donde se generan los beneficios. Esta categoría mide los valores de no uso asociados al suelo, (e.g. el valor patrimonial de la preservación del suelo para las generaciones futuras o el valor del suelo visto como acervo o documento histórico y arqueológico).

De este modo el valor total del suelo estimado por los beneficios que se derivan de él puede ser expresado como la suma de estos, un ejemplo similar puede revisarse en el trabajo de Görlach *et al.*, 2004, [77], en el que los autores integran cinco componentes para estimar el costo total de la degradación del suelo.

Para esta investigación cada una de las categorías de beneficios tiene que estimarse y sumarse para integrar el valor total del suelo; e.g. para cada uno de los tipos de beneficios relacionados con el uso sería  $BUD + BUI + BNU = BT$ , en la medida de lo posible es necesario establecer una función separada, que cuantifique el beneficio como una función de valor del suelo. Con el fin de garantizar la coherencia de los datos subyacentes, idealmente deben estar en las mismas unidades de medición para todas las categorías de beneficios.

En la tabla 3.7 se presentan algunos ejemplos de indicadores que pueden emplearse para cuantificar los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos asociados al suelo. La cuantificación de beneficios evidentemente parte de una identificación física por lo que en primer lugar se usa un indicador físico, adicional a que debe también haber un indicador (preferentemente) económico el cual permitirá la asignación de valor. Asimismo es necesario recordar que un mismo servicio ecosistémico puede generar más de un beneficio.

Los métodos que pueden emplearse para obtener la información necesaria son principalmente datos estadísticos como anuarios, series de tiempo, consulta a expertos sobre el tema; identificándolos por medio de literatura especializada (ciencias del suelo, ecología, ciencias agrícolas, geografía física, etc.), a través de cartografía sobre usos del suelo y en los casos que sea posible consultando a los actores relevantes (usuarios o beneficiarios) del suelo.

Tab. 3.7: Ejemplos de indicadores para cuantificar los beneficios que el suelo suministra.

Beneficio	Indicador físico		Indicador económico		Categoría de beneficio
		Unidad		Unidad	
Productos alimenticios	Superficie sembrada	ha	Valor de la producción	\$US o %	BUD
Control de la erosión	Superficie expuesta	ha o %	Valor de la producción, Valor de la tierra	\$US o %	BUI
	Superficie perdida por año (e.g. tierras agrícolas).	ton/ha/año	Efectos <i>off situ</i> (salinización, etc.)	\$US	BUI
	Área bajo riesgo de erosión	ha	Costo de medidas de estabilización/conservación.	\$US	BUI
			Costo de insumos adicionales (fertilizantes, etc.)	\$US	BUD
Control de inundaciones	Superficie expuesta	ha	Costo anual de evitar eventos de inundación.	\$US	BUD/BUI
			Valor de la producción en el área expuesta	\$US	BUD
			Vidas humanas perdidas en inundaciones.	\$US	BUI
			Gasto anual de prevenir inundaciones	\$US	BUI
Control de deslizamientos	Superficie expuesta	ha	Costo anual de evitar deslizamientos	\$US	BUD/BUI
			Vidas humanas perdidas en deslizamientos	\$US	BUI
Retención de contaminantes	Superficie afectada	ha	Gasto para monitorear e inventariar	\$US	BUI
	No. de sitios contaminados	No.	Costo de evitar fugas y derrames	\$US	BUI
	Riesgos de contaminación	Probabilidad	Costo de seguros para actividades peligrosas.	\$US	BUI
Degradación y descomposición de materia orgánica (MO) calculada por tipo y uso del suelo.	Contenido de MO en la superficie del suelo.	ton	Rendimiento de cultivos	\$US	BUD/BUI
Entorno físico	Área construida	% del total	Costo de oportunidad de usos alternativos o potenciales.	\$US	BUD
	Aumento porcentual de las áreas edificadas.	%	Valor de la tierra	\$US	BUD/BUI
	Tierra consumida para la expansión urbana.	ha	Valor de las amenidades	\$US	BUD/BUI
			Valor de la tierra	\$US	BUD
			Paisaje	cualitativo	BUI
	No de especies	No. o %	Valor de opción de la biodiversidad.	\$US	BUI
	Área cultivada	ha	Extensión de cultivos	\$US o %	BUI
Densidad del suelo	kg/m <sup>3</sup>	Gasto de conservación	\$US o %	BUI	
Actividades recreativas o ecoturísticas	Superficie en estado natural o seminatural.	ha	Disposición a pagar por la existencia del ecosistema.	\$US/ha	BUD/BNU
Belleza escénica	Superficie susceptible de aportar belleza escénica.	ha	Índice con base en las preferencias de los actores con acceso visual al área.	\$US/año	BUD/BNU
			Disposición a pagar por la existencia del ecosistema.		

FUENTE: adaptado de Görlach *et al.*, 2004 [77] y Martínez-Harms, 2010 [122].

En la columna categoría de beneficios, BUD = beneficio de uso directo, BUI = beneficio de uso indirecto y BNU = beneficio no relacionado con el uso.

#### *Etapas IV: Identificación de actores relevantes*

Una vez mapeados los servicios ecosistémicos y cuantificados los beneficios que se derivan de ellos, en esta etapa se identifica a los actores que son relevantes en cuanto a la apropiación de tales beneficios. Es pertinente señalar que dentro de esta investigación se considera actor a individuos, hogares, industrias, grupos u organizaciones con *participación* significativa dentro del sistema socioecológico, poniendo especial énfasis en los usuarios o beneficiarios (tanto directos como aquellos que indirectamente se benefician de los servicios ecosistémicos asociados al suelo); a distintas escalas (local, regional, global) para tener claridad sobre cuales SE valorar. Por lo que de modo similar a Krupa, 2016 [107], se define participación como *una interacción directa y continua con algún componente del sistema socioecológico*, en este caso el suelo, que los actores establecen desde el interior o fuera del SSE y que se relaciona con el suministro de SE provenientes del suelo, las acciones derivadas de esta interacción impactan sobre el suministro de SE en el área de estudio.

La selección de actores relevantes (cuya base es la teoría de stakeholders), consiste en identificar a las partes interesadas, y se enfoca en tomar en cuenta simultáneamente los intereses de múltiples partes interesadas [50], es decir, reconoce la interacción de diversos tipos de actores con diversos tipos de intereses y participación que pueden asignar valor a los servicios ecosistémicos [84].

De acuerdo con Tan *et al.*, 2001 [176], el análisis de stakeholders es una metodología utilizada para facilitar los procesos de reforma institucional y de políticas al contabilizar y a menudo incorporar las necesidades de aquellos que tienen una participación o un interés en las reformas bajo consideración. Lo cual aplicado en el contexto de esta investigación es la identificación de los principales actores, reconociendo su participación en un determinado SSE y las formas en que sus acciones pueden impactar sobre el suministro de SE.

La importancia de identificar actores relevantes es que permite tener mayor claridad acerca del valor que estos asignan a los SE, e.g. como reportan Cebrian *et al.*, 2017 [30], dentro un mismo SSE los agricultores asignan mayor valor a los SE de provisión en contraste con los actores que tienen interés en la conservación los cuales asignan mayor valor a los SE culturales. Adicional a esto diferentes actores perciben los servicios ecosistémicos de maneras que pueden o no ser similares por lo que dichas percepciones se relacionan con el valor que ellos asignan al suelo.

La tabla 3.8 presenta la descripción de las categorías de actores en función del uso, se hace evidente la diversidad de intereses de los distintos actores, los cuales pueden o no ser mutuamente compatibles, por lo que el valor que representa el suelo para cada uno de ellos también es muy

diverso; asimismo por medio de ese cuadro puede identificarse la capacidad de impactar sobre la calidad del suelo por parte de los diversos actores.

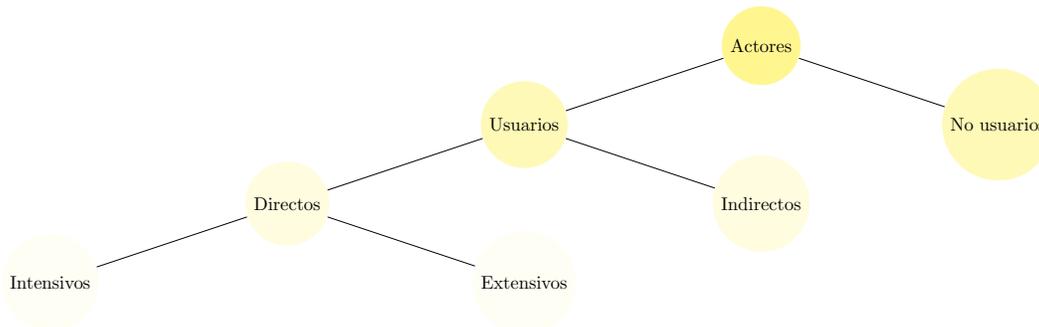
Tab. 3.8: Descripción de distintos tipos de actores en función del uso que hacen del suelo.

Actor	Uso	Descripción
Usuario	Directo	Intensivo Tiene acceso a nueva tecnología que permite un uso más intensivo, lo que genera que en algunos casos exista el riesgo de que el rendimiento del suelo supere su productividad primaria tendiendo a degradarlo. En otros casos, como la recolección de biomasa de las tierras de cultivo y la producción de combustible o de materias primas, se puede mantener y mejorar la integridad del suelo.
		Extensivo Se apropia directamente de los beneficios del suelo de manera sostenible, es decir, coherente con las prácticas de manejo y conservación de suelo. Poseen cierto conocimiento ecológico. Generalmente sus prácticas de apropiación tienen como fin el autoconsumo.
	Indirecto Individuos o comunidades que se benefician de los SE asociados al suelo como la mitigación de la erosión o el control de inundaciones, la estabilización hidrológica y la purificación de agua a través del suelo. Es frecuente que debido a la extensa provisión de tales servicios, muchos actores no estarán al tanto de su origen.	
No usuario		Sin importar la distancia geográfica, atribuyen valor de no uso a los beneficios que el suelo suministra posiblemente debido al reconocimiento de su valor intrínseco.

FUENTE: basada en Turner *et al.*, 2000 [179], Kumar, 2012 [108], y Krupa, 2016 [107].

La figura 3.5 que esquematiza la descripción presentada, puede servir para la identificación y clasificación de actores en aquellos que son o no usuarios del suelo, en caso de ser usuarios a su vez dividirse en usuarios directos o indirectos, y finalmente en el caso de los usuarios directos hacer la distinción si se trata de intensivos o extensivos, esto con la finalidad de identificar cuales de ellos se consideran dentro de la estimación de valor del suelo.

Fig. 3.5: Clasificación de actores relevantes.

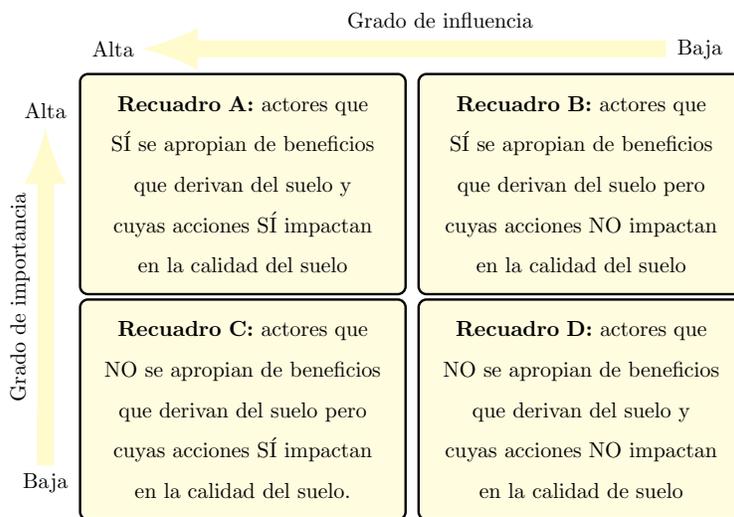


FUENTE: basado en Görlach *et al.*, 2004 [77].

Para lograr esa identificación es necesario preguntarse ¿quién se apropia de beneficios provenientes de los SE asociados al suelo?, ¿cuáles acciones podrían impactar potencialmente al suministro de servicios ecosistémicos?, el subsistema actores del marco SSE puede ser útil para la identificación ya que incluye variables como diversidad y cantidad de actores incluyendo a los usuarios, atributos socio-económicos de los usuarios, historia de apropiación, ubicación, liderazgo/agencia, normas/capital social, conocimiento del SSE/modelos mentales, dependencia de los recursos y tecnología en uso.

Posterior a todo ello se tiene que priorizar qué actores son relevantes en función de su importancia e influencia [80], de este modo se obtendrá mayor claridad para ahora sí definir quiénes se tienen que considerar (e incluso implicar) en la valoración del suelo, la figura 3.6 es útil para tal efecto, ya que permite posicionar a cada actor en el punto apropiado de acuerdo a su *importancia*, que se refiere al grado en que un actor se apropia de beneficios suministrados por el suelo, también de acuerdo a su *influencia* que se refiere a la capacidad relativa de un actor para afectar la calidad del suelo.

Fig. 3.6: Caracterización de los actores relevantes en el área de estudio en función de su importancia e influencia.



FUENTE: elaborado a partir de Grimble & Wellard, 1997 [80, pag 176].

En la figura, el recuadro A incluye aquellos actores cuyos intereses son de mayor relevancia para los estudios sobre el valor del suelo ya que el impacto que generan sobre la calidad del recurso es considerable. En el recuadro B se incluyen aquellos actores que si bien no impactan a la calidad del suelo deben considerarse debido a la apropiación de beneficios que llevan a cabo. En el recuadro

C se incluyen aquellos actores que pueden ser una fuente de riesgo para la calidad del suelo, aún si no se apropian de beneficios derivados de él. El recuadro D se incluyen aquellos actores que son de baja prioridad para la valoración, es poco probable que asignen valores altos a los beneficios suministrados por el suelo.

Los actores que se incluyen en el recuadro D no son actores clave y se puede ignorar a este grupo en la valoración del suelo. Los que están en el recuadro A son los actores más relevantes y sus intereses son los principales en considerarse para la valoración. De la misma forma, se deben considerar en la valoración los intereses de los actores incluidos en el recuadro B. Es probable que se considere incluir a los actores en el recuadro C debido al impacto que generan sobre el suelo. En resumen se consideran como actores en orden de relevancia los que se incluyen en los recuadros A, B y C.

La tabla 3.9 presenta algunos ejemplos de actores que pueden considerarse en la estimación de valor del suelo, presenta el rol de cada actor, el grupo de usuario al que pertenece, el tipo de uso que hace del suelo, sus características principales, su prioridad y la razón para considerarlo en la valoración en función de su importancia e influencia. Aun siendo una representación esquematizada guía la comprensión de los distintos tipos de actores relacionados con el suelo.

Los métodos que pueden emplearse para llevar a cabo tanto la identificación como para priorizar actores son: i) revisión sistemática y síntesis de la literatura académica y literatura gris, ii) a través de la técnica Delphi que básicamente consiste en consultar a expertos sobre el tema y con conocimiento acerca del área, y iii) por medio de extrapolación de estudios de casos existentes para la comparación global.

Tab. 3.9: Ejemplos de actores que pueden considerarse en la estimación del valor del suelo.

<i>Rol</i>	<i>Grupo</i>	<i>Uso</i>	<i>Características</i>	<i>Prioridad</i>	<i>Se incluye</i>
Productores	Usuario	Directo	Los productores agrícolas son considerados determinantes para el cambio de uso de suelo, convierten al suelo en tierras agrícolas, ya que, al menos en el corto y mediano plazo el suelo es fértil, los nutrientes son abundantes y el agua está libremente disponible.	Alta	Por su importancia e influencia
Extractores agua	Usuarios	Directo	Usan al suelo como fuente de agua potable o para riego agrícola, pero también lo contaminan. Esto puede resultar en una caída en su capa freática y eventual degradación de calidad, o en la descarga de agua <i>contaminada</i> .	Alta	Por su importancia e influencia
Grupos de defensa	Usuarios	Directo	Apoyan causas o propuestas para la conservación o el uso sostenible del suelo, combinan los objetivos de conservación de la naturaleza con el disfrute de la presencia de especies vegetales y animales. Generalmente el valor que dan al suelo se asocia a beneficios estéticos y/o valores de uso recreativo.	Media	Por su influencia
Educación	Usuarios	Directo	Actores que proveen materiales o servicios de instrucción sobre los beneficios que aporta el suelo o sobre las formas de conservarlo.	Media	Por su influencia
Fuente de ingresos	Usuarios	Directo	Actores que contribuyen con recursos monetarios o técnicos a la conservación del suelo.	Media	Importancia
Investigación	Usuarios	Indirecto	Actores que participan en la recopilación de datos sociológicos, ecológicos o económicos sobre el suelo	Media	Influencia
Reglamentación o autorización	Usuarios	Indirecto	Actores que poseen autoridad regulatoria o de permisos que inciden sobre el uso del suelo.	Media	Influencia
Gestión de recursos	Usuarios	Indirecto	Actores que gestionan los recursos públicos que de alguna manera impactan sobre la calidad del suelo	Media	Influencia
Propietarios de la tierra	Usuarios	Directo	Actores que poseen tierras dentro o directamente adyacentes al sistema socioecológico.	Alta	Por su importancia e influencia
Interés social	Usuarios	Directo	Actores interesados en el valor social o cultural de los servicios ecosistémicos que el suelo proporciona.	Media	Importancia
Interés económico	Usuarios	Directo	Actores que realizan inversión monetaria para apropiarse de beneficios del suelo, o bien aquellos cuyas inversiones se ven afectadas a causa de la degradación del suelo.	Alta	Por su importancia e influencia
No usuario	–	–	Actores que no se apropian de beneficios y sus acciones tampoco impactan sobre la calidad del suelo.	Baja	No se incluyen

FUENTE: basado en Krupa, 2016 [107].

### Etapa V: Asignación de valor monetario

Si bien es cierto que no todos los beneficios que se derivan de los SE que suministra el suelo son de importancia económica directa y medible, también lo es que todos contribuyen a su valor. Sin embargo, hay que tener presente que los beneficios se derivan a partir de los servicios ecosistémicos en combinación con otros insumos humanos (mano de obra, maquinaria, etc.), mientras que el valor de los mismos es subjetivo, por lo tanto variable en función del usuario (o actor) que se beneficia de ellos, así como el momento y dónde ocurre la apropiación de dichos beneficios. De esta manera, el valor de los SE no incluye el aporte de los insumos que permiten la generación de beneficios [147].

Tab. 3.10: Técnicas de valoración aplicables a los diferentes servicios ecosistémicos.

<i>Técnicas económicas</i>	<i>Técnicas no económicas</i>
<i>NO BASADAS EN LA DEMANDA:</i>	<i>TÉCNICAS DE CONSULTA:</i>
Precio de mercado	Cuestionarios
Costo de reemplazo	Entrevistas a profundidad
Dosis-respuesta	<i>ENFOQUES PARTICIPATIVOS Y DELIBERATIVOS:</i>
Costos evitados	Grupos focales, grupos en profundidad
Costo de mitigación	Jurados ciudadanos
Costo de oportunidad	Enfoques de valoración basados en la salud
<i>BASADAS EN LA DEMANDA</i>	Metodología-Q
PREFERENCIAS REVELADAS	Técnica Delphi
Precios hedónicos	Evaluación rural rápida
Costo de viaje	Evaluación rural participativa
PREFERENCIAS REVELADAS	Investigación de acción participativa
Valoración contingente	<i>ENFOQUES DE REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN:</i>
Análisis de elección	Revisiones sistemáticas
<i>OTRAS TÉCNICAS:</i>	
Transferencia de beneficios	
Factor Neto	

FUENTE: Christie *et al.*, 2008 [34, pág 12].

Dicho lo anterior se debe mencionar que son varias las técnicas que han sido propuestas para estimar el valor, en términos monetarios, del suelo [2, 169, 98]. En general, todas ellas sirven para asignar valor a la calidad ambiental, un bien que no se negocia en el mercado. Por lo tanto, los valores han de ser inferidos de otras maneras [77]. La tabla 3.10 presenta las distintas técnicas para asignar valor monetario, están divididas en económicas y no económicas, las que se abordan en esta investigación son las económicas y por lo tanto las que se van describir.

En específico esta etapa cobra importancia porque muestra distintas técnicas para realizar la estimación del valor del suelo. Mención especial merece el valor social (en la sección 1.2.3 se presentó la definición de valor social asumida), se plantea de manera muy específica para el caso del suelo que este tipo de valor corresponde a los SE culturales, los cuales derivan de construcciones sociales y no directamente de flujos físicos como el resto de categorías de servicios ecosistémicos.

De manera consistente a lo que reportaron Makovníková *et al.*, 2017 [119], sobre el mapeo de SE que en mayor medida se ha realizado para los de provisión en comparación con los de regulación y los culturales, ocurre lo mismo para la asignación de valor según Jónsson & Davíðsdóttir, 2016 [98], quienes reportaron que los servicios de provisión han sido los más estudiados en contraste con los culturales que son los menos estudiados.

Sin perder de vista el marco de SSE en esta etapa puede ser de utilidad el subsistema *unidades de recursos* (UR) que incluye como una de sus variables al valor económico, el subsistema *interacciones* (I) que incluye variables como cosecha por parte de diversos usuarios, intercambio de información entre usuarios, procesos de deliberación, conflictos entre los usuarios, actividades colectivas de inversión, actividades colectivas de cabildeo, actividades de auto-organización y actividades de redes; además del subsistema *resultados* (R) que a su vez incluye variables como externalidades hacia otros SSE, medidas de desempeño social y medidas de desempeño ecológico. El punto a destacar es que la asignación de valor tiene lugar como parte de las interacciones y se derivan ciertos resultados que en forma de recomendaciones guían el manejo del suelo.

Como primer aproximación a las diferentes técnicas de valoración, cada una ofrece un ángulo de análisis distinto, no hay reglas claras acerca de cuál aplicar en cada caso, ni tampoco cual deba considerarse la mejor, aunque también es posible realizar combinaciones de ellas. Además, algunos SE suministrados por el suelo requieren el uso de técnicas específicas para valuarlos tal es el caso de los SE culturales. La tabla 3.11 ejemplifica en parte esta situación e ilustra el uso de distintas técnicas de valoración en función del tipo de mercado.

Tab. 3.11: Técnicas de valoración aplicables en función del tipo de mercado en el que se comercializan.

<i>Mercado real</i>	<i>Mercado sustituto</i>	<i>Mercado simulado</i>
Precio de mercado	Costo de viaje	Valoración contingente
Cambio en la productividad	Precios hedónicos	Análisis de elección
	Costos defensivos y preventivos	

FUENTE: de Alba & Reyes, 1998 [49].

Del mismo modo ocurre con los tipos de valor que refleja cada una de las técnicas de valoración, en la tabla 3.12 se muestra la relación de los servicios ecosistémicos con algunos de los componentes que integran el valor económico total. Estos valores deben expresarse en unidades monetarias por unidad de superficie de suelo que proporciona el servicio ecosistémico cada año (e.g. \$/ha/año para secuestro de carbono), lo cual proporciona una estimación de los beneficios aportados. Dichos valores dependen, por ejemplo, de los precios de la producción agrícola (que puede perderse), del costo de las medidas de conservación y mitigación (en sustitución de las funciones que realiza el suelo) y de la valoración de otros SE, que no tienen valor de mercado, que proporciona el suelo [77, 170].

Tab. 3.12: Relación de los servicios ecosistémicos con los distintos componentes del valor económico total.

Categoría	Valor de uso			Valor de no uso <sup>a</sup>
	Directo	Indirecto	Opción	
Provisión	✓		✓	
Regulación		✓	✓	
Culturales	✓		✓	✓

FUENTE: elaborada a partir de Christie *et al.*, 2012 [35].

<sup>a</sup> Al valor de no uso también se le denomina valor de uso pasivo.

La multitud de técnicas de valoración trae consigo el peligro de doble recuento; además es difícil juzgar si una combinación de diferentes técnicas de valoración revele el verdadero valor (económico y social) del suelo. Las técnicas más comúnmente utilizadas pueden basarse en comparación entre productos y mercados relacionados, en precios de mercado, en la técnica de factor neto, en costos como el de viaje, en precios hedónicos, o por medio de la obtención de la disposición a pagar (DAP) de los consumidores por la conservación de los aspectos ambientales a través de encuestas y cuestionarios, la descripción amplia de cada técnica se presenta en la tabla 3.13.

Lo que es un hecho es que independientemente de la técnica que se adopte no se puede pasar por alto que la valoración de los servicios ecosistémicos no constituye un objetivo en sí mismo sino que es una herramienta más destinada a orientar el proceso de la toma de decisiones [47]. No obstante el uso de técnicas de valoración monetaria, como la valoración contingente, los experimentos de elección, los costos de reemplazo e incluso los precios hedónicos y de mercado tienen el potencial de ir más allá de expresar medidas monetarias y también transmitir el valor de beneficios sociales expresados en términos monetarios [160].

Tab. 3.13: Descripción de las principales técnicas para estimar el valor del suelo.

Atributos	Descripción
<b><i>TÉCNICAS NO BASADAS EN LA DEMANDA</i></b>	
Nombre de la técnica	<b>Precio de mercado</b>
Descripción	Proporciona, en teoría, una estimación del valor económico total (la disposición real de las personas a pagar), en la práctica proporciona a menudo el valor de uso directo
Implementación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Determinar el precio por comprar o vender un bien o producto</li> <li>2) Recopilar datos sobre los precios de mercado del bien en cuestión</li> <li>3) Estimar la cantidad consumida/vendida del bien o servicio en cuestión</li> <li>4) Multiplicar el precio del bien por la cantidad consumida/vendida</li> </ol>
Tipo de valor capturado	En teoría valor económico total (en la práctica valor de uso)
Ventajas	<p>Técnica: estimación directa del valor, asociada a los flujos monetarios reales</p> <p>Datos: los precios de mercado pueden registrarse fácilmente</p>
Desventajas	<p>Técnica: mercados ausentes o distorsionados</p> <p>Datos: los precios de mercado pueden faltar o estar mal registrados</p>
Ejemplos de indicadores	<p>Físico: superficie sembrada</p> <p>Económico: valor de la producción</p>
Ejemplos de estudios	Decaens <i>et al.</i> , 2006; Dominati <i>et al.</i> , 2014; Haley, 2006; Pimentel <i>et al.</i> , 1997; Pretty <i>et al.</i> , 2000; Sandhu <i>et al.</i> , 2008; Xiao <i>et al.</i> , 2005.
Nombre de la técnica	<b>Costo de reemplazo</b>
Descripción	Estima los costos de reemplazar los servicios ecosistémicos
Implementación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Determinar los beneficios asociados al servicio ecosistémico en cuestión</li> <li>2) Identificar la alternativa más probable para proporcionar un nivel equivalente de beneficios</li> <li>3) Calcular los costos de instalación y funcionamiento del reemplazo</li> </ol>
Tipo de valor capturado	Valor de uso
Ventajas	<p>Técnica: fácil de implementar</p> <p>Datos: los precios de mercado pueden registrarse fácilmente</p>

Continuación de la tabla 3.13

Desventajas	Técnica: el supuesto de que el reemplazo artificial es equivalente puede no ser cierto y el costo de reemplazo puede reflejar solamente parte del valor económico total Datos: los precios de mercado pueden faltar o estar mal registrados
Ejemplos de indicadores	Físico: cantidad de fertilizante adicionado por hectárea Económico: costos de los fertilizantes para reponer los nutrientes del suelo
Ejemplos de estudios	Bond <i>et al.</i> , 2011; Drechsel <i>et al.</i> , 2004; Duffy, 2012; Hansen & Hellerstein, 2007; Pimentel <i>et al.</i> , 1995; San & Rapera, 2010; Scott, 2000.
<b>Nombre de la técnica</b>	<b>Dosis-respuesta</b>
Descripción	Estima cuánto cambia el precio o la cantidad de un bien ante un cambio en la cantidad de insumos de producción. También se denomina enfoque basado en la función de producción o en el cambio de productividad.
Implementación	1) Determinar la contribución del servicio ecosistémico a la fuente de producción relacionada 2) Especificar la relación entre los cambios en el suministro de servicios ecosistémicos y los cambios en el producto relacionado 3) Relacionar el cambio en el suministro de SE con el cambio físico en la producción 4) Estimar el valor de mercado del cambio en la producción
Tipo de valor capturado	Valor de uso
Ventajas	Técnica: fácil de implementar Datos: los precios de mercado pueden registrarse fácilmente
Desventajas	Técnica: la relación entre el cambio en el suministro de servicios ecosistémicos (dosis) y la producción (respuesta) no siempre es fácil de modelar o estimar y puede no ser aplicable en distintos entornos o contextos Datos: es sumamente intensiva la colecta de datos necesarios para construir un modelo
Ejemplos de indicador	Físico: aumento en el contenido de materia orgánica en el suelo Económico: aumento en los rendimientos agrícolas debido al aumento en el contenido de agua y nutrientes en el suelo.
Ejemplos de estudios	Dominati <i>et al.</i> , 2014; Sandhu <i>et al.</i> , 2008; Pretty <i>et al.</i> , 2000.
<b>Nombre de la técnica</b>	<b>Costos evitados</b>
Descripción	Estima el valor de uso de los costos evitados de la degradación del suelo, lo cual finalmente se traduce en disminución del suministro de servicios ecosistémicos
Implementación	1) Identificar los beneficios (funciones) de protección que suministra el suelo a través de los servicios ecosistémicos 2) Identificar los daños que causaría la pérdida en diferentes grados de dichas funciones de protección 3) Ubicar la infraestructura, los resultados o la población que se vería afectada a causa de esa pérdida de las funciones de protección

Continuación de la tabla 3.13

	4) Obtener información sobre la probabilidad y la frecuencia de que se produzcan los daños 5) Estimar los costos por daños asociados con la pérdida de servicios ecosistémicos
Tipo de valor capturado	Valor de uso (indirecto)
Ventajas	Técnica: fácil de implementar Datos: basados en una mezcla de datos biofísicos y económicos
Desventajas	Técnica: propensa a la sobreestimación. Los costos de daños evitados pueden no ser iguales a los beneficios económicos. No siempre es fácil estimarlo porque se ha evitado (se trata de una situación hipotética) Datos: puede ser difícil medir el costo de evitar daños (ya que se trata de una situación hipotética)
Ejemplos de indicador	Físico: Costos de los fertilizantes para reponer los nutrientes del suelo Económico: costos de los fertilizantes para reponer los nutrientes del suelo
Ejemplos de estudios	Sandhu <i>et al.</i> , 2008; Barrios, 2007; Dominati <i>et al.</i> , 2014;
<b>Costo de mitigación</b>	
Nombre	
Descripción	Estima el valor de uso como costos de mitigar o evitar la pérdida de bienes o servicios ecosistémicos
Implementación	1) Identificar los peligros derivados de la pérdida de bienes o servicios 2) Ubicar el área y la población que podrían ser afectadas 3) Obtener información sobre las respuestas de las personas y las medidas adoptadas para hacer frente a los efectos de la pérdida 4) Estimar el costo de la respuesta de mitigación
Tipo de valor capturado	Valor de uso (indirecto)
Ventajas	Técnica: fácil de implementar Datos: fáciles de medir
Desventajas	Técnica: propensa a la sobreestimación Datos: los costos de mitigación pueden ser incompletos o registrados incorrectamente
Ejemplos de indicador	Físico: Costo de mantener setos para reducir la erosión del suelo Económico: Costo de mantener setos para reducir la erosión del suelo
Ejemplos de estudios	Dominati <i>et al.</i> , 2014a; Dominati <i>et al.</i> , 2014b.
<b>Costo de oportunidad</b>	
Nombre de la técnica	
Descripción	Estima el valor de uso como el beneficio obtenido bajo la siguiente mejor alternativa de uso del suelo
Implementación	1) Identificar la siguiente mejor alternativa de uso del suelo

Continuación de la tabla 3.13

- 2) Estimar los costos y beneficios de esa siguiente mejor alternativa de uso del suelo
- 3) Calcular el beneficio perdido de esa siguiente mejor alternativa como medida del costo de oportunidad

Tipo de valor capturado	Valor de uso
Ventajas	Técnica: permite considerar usos alternativos del suelo partiendo de que el actual es el más rentable económicamente Datos: fáciles de medir para las siguientes opciones de uso del suelo que existen
Desventajas	Técnica: segunda mejor alternativa bajo las estimaciones de los beneficios de la actual Datos: los costos y beneficios de los usos alternativos del suelo pueden ser difíciles de transferir a un contexto distinto (escenario hipotético)
Ejemplos de indicadores	Físico: rendimiento que se puede obtener por la conversión del suelo forestal en agrícola Económico: valor económico del uso actual del suelo (forestal), en comparación con otras alternativas

### ***TÉCNICAS BASADAS EN LA DEMANDA***

<b>Tipo de técnica</b>	<b>PREFERENCIAS REVELADAS</b>
Nombre de la técnica	<b>Precios hedónicos</b>
Descripción	Estima el valor de uso como una proporción de los precios de mercados sustitutos
Implementación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Encontrar un mercado sustituto donde el valor del bien o servicio a ser valorado esté inmerso</li> <li>2) Identificar características que influyan en el precio de mercado del bien</li> <li>3) Descomponer (desagregar) el precio del bien en el mercado sustituto en los precios individuales de sus características</li> <li>4) Estimar la curva de demanda y calcular la DAP. Alternativamente, puede tomarse el precio unitario para el bien o servicio que se va a valorar</li> </ol>
Tipo de valor capturado	Valor de uso
Ventajas	Técnica: se basa en un mercado sustituto existente Datos: puede obtenerse fácilmente
Desventajas	Técnica: el mercado sustituto puede estar distorsionado o imperfectamente registrado, y puede captar imperfectamente el valor de uso del bien o servicio que se va a valorar Datos: pueden estar incompletos o registrados incorrectamente
Ejemplos de indicador	Físico: cercanía a un parque o vista al mar Económico: precios de la vivienda (incluyendo e nivel de ingreso o impuestos)
Ejemplos de estudios	Bejranonda & Hitzhusen, 1996; Drechsel <i>et al.</i> , 2004; Eade & Moran, 1995.

Continuación de la tabla 3.13

Nombre de la técnica	Costo de viaje
Descripción	Usa los costos de viaje para estimar el valor de uso
Implementación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Identificar el área desde la cual vienen los visitantes, cuánto tiempo tardan y cuánto dinero gastaron para llegar al área que va a ser valorada, y sus características socioeconómicas</li> <li>2) Estimar el costo de un viaje en función del número de visitantes, los costos de viaje, el tiempo de viaje y las características socioeconómicas de los visitantes</li> <li>3) Introducir una cuota (tarifa) hipotética de entrada y calcular el número esperado de visitantes del nuevo costo total (curva de demanda)</li> <li>4) Calcular el excedente del consumidor de esta curva de demanda</li> </ol>
Tipo de valor capturado	Valor de uso
Ventajas	<p>Técnica: se puede implementar fácilmente a través de una encuesta aplicada a visitantes en un área geográfica determinada</p> <p>Datos: fácil de recoger a través de la aplicación de una encuesta a los visitantes</p>
Desventajas	<p>Técnica: limitado a beneficios recreativos vinculados a un viaje</p> <p>Datos: base de datos sumamente específica de un sitio dado y momento de aplicación de la encuesta</p>
Ejemplos de indicador	<p>Físico: superficie que conforma un ANP específica</p> <p>Económico: cuota de entrada a un parque nacional (que va a permitir deducir su valor a partir de los gastos de viaje observados)</p>
Ejemplos de estudios	Fletcher <i>et al.</i> , 1990; Eastwood <i>et al.</i> , 2000.
Nombre de la técnica	Valoración contingente
Descripción	Estima el valor económico de la cantidad que la gente declara que está dispuesta a pagar o aceptar
Implementación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Diseñar una encuesta</li> <li>2) Presentar una situación hipotética que describa el bien o servicio ambiental, el contexto institucional y los medios de pago (impuestos, honorarios) de una manera creíble</li> <li>3) Preguntar a los encuestados su disposición a pagar (aceptar) por un aumento (pérdida) en bienes o servicios</li> <li>4) Establecer una distribución de frecuencias que relaciona la disposición a pagar (aceptar) con el número de personas que la declaran</li> <li>5) Realizar una tabulación cruzada de las respuestas sobre disposición a pagar (o aceptar) con variables explicativas (ingresos, edad, educación)</li> <li>6) Llevar a cabo un análisis multivariado para correlacionar las respuestas a las variables explicativas</li> <li>7) Agregar los resultados de la muestra</li> </ol>

Continuación de la tabla 3.13

Tipo de valor capturado	Valor económico total
Ventajas	Técnica: fácil de entender e implementar Datos: fácil de recopilar a través de encuestas o grupos focales
Desventajas	Técnica: es propensa a muchos sesgos, a menudo conduce a sobrestimar la disposición real a pagar, y no permite estimar los <i>trade-offs</i> entre diferentes servicios ecosistémicos Datos: base de datos sumamente específica del sitio dado y el momento de aplicación de la encuesta
Ejemplos de indicador	Físico: <i>hotspot</i> de biodiversidad, especies simbólicas (e.g. ballena azul, tigres, gorilas de montaña, pandas) Económico: disposición a pagar o a aceptar
Ejemplos de estudios	Bond <i>et al.</i> , 2011; Colombo <i>et al.</i> , 2006.
<b>Nombre de la técnica</b>	<b>Análisis de elección</b>
Descripción	Estima el valor económico de la DAP declarada o disposición a aceptar (DAA) por una serie de atributos (parecidos dentro de la misma actividad económica u otras similares) y los <i>trade-offs</i> entre ellos.
Implementación	1) Diseño de un experimento de elección: 2) Presentar una situación hipotética que describa el bien o servicio ambiental, el contexto institucional y los medios de pago (impuestos, honorarios) de una manera creíble 3) Establecer opciones alternativas, cada una de las cuales está definida por varios atributos y un precio 4) Diseñar tarjetas de elección únicas seleccionando combinaciones de opciones alternativas. El encuestado debe elegir sólo una opción de cada tarjeta de elección 5) Agregar los resultados y estimar la DAP en general y por cada atributo
Tipo de valor capturado	Valor económico total
Ventajas	Técnica: única que permite la estimación del valor económico total, y <i>trade-offs</i> entre bienes y servicios Datos: conjunto de datos completo
Desventajas	Técnica: sesgos potenciales; contexto específico Datos: sumamente intensiva en la colecta de datos
Ejemplos de indicador	Físico: <i>Trade-offs</i> entre medidas de conservación como la preservación de especies emblemáticas, <i>hot-spots</i> de biodiversidad o un parque cercano, y otras actividades económicas como la producción agrícola o la minería Económico: la disposición a pagar o a aceptar
Ejemplos de estudios	Glenk & Colombo, 2011; Rodríguez-Entrena <i>et al.</i> , 2012.

Continuación de la tabla 3.13

### OTRAS TÉCNICAS

Nombre de la técnica	<b>Transferencia de beneficios</b>
Descripción	Los resultados obtenidos en un contexto específico se transfieren a otro sitio comparable
Implementación	1) Identificar contextos de <i>origen</i> , esto es, los contextos desde los cuales se transferirá el valor económico, y sus características (niveles de ingresos, uso del suelo, cobertura, tipo de área) 2) Estimar de la disposición a pagar (DAP) en función de las características del contexto de origen 3) Utilizar las características del contexto a ser valorado en la ecuación de la DAP obtenida (para el sitio de origen) y derivar la nueva disposición a pagar
Tipo de valor capturado	Depende del método utilizado en el contexto original, antes de realizar la transferencia
Ventajas	Técnica: fácil de conceptualizar e implementar Datos: basados en datos disponibles de estudios previos y no requiere recolección de datos primarios
Desventajas	Técnica: puede ser muy intensivo en recopilar datos. Los resultados pueden ser inexactos dependiendo de cómo difieran las preferencias sociales en diferentes lugares, así como las economías de escala. Datos: los resultados del estudio previo pueden estar sesgados
Ejemplos de indicador	Físico: número de especies en un área específica Económico: disposición a pagar estimada en áreas de características similares
Ejemplos de estudios	Noel <i>et al.</i> , 2008; San & Rapera, 2010; Eade & Moran, 1995.
Nombre de la técnica	<b>Factor neto</b>
Descripción	Esta técnica permite estimar la contribución del suelo en cuanto aporte a cierta actividad productiva. Se utiliza para estimar el valor económico de los servicios ecosistémicos que contribuyen a la producción de bienes con precio de mercado. Se aplica en casos donde los servicios ecosistémicos se utilizan, junto con otros insumos, para producir un bien con precio de mercado.
Implementación	1) Establecer una función de producción para la calidad del suelo 2) Estimar cómo cambian los costos cuando cambia la calidad del suelo, usando la función de producción del primer paso 3) Estimar el beneficio de conservar la calidad del suelo en términos de reducir los costos originados por la degradación del suelo
Ejemplos de indicador	Físico: materias primas extraídas del suelo como insumo ambiental utilizado para producir un bien Económico: costo de producción del bien en cuestión

FUENTE: Adhikari & Nadella, 2016 [2, pág 138-139]; Kumar, 2012 [108, pág 210-211]; ELD Initiative, 2015 [61, pág 33-38]; los ejemplos se tomaron de Jónsson &

Davíósdóttir, 2016 [98].

### Etapa VI: Presentación de resultados

Como se mencionó en el propósito del estudio, esta investigación intenta contribuir a la identificación, categorización y sistematización de información sobre el valor del suelo; por lo que los valores obtenidos se incorporan en el formato que se muestra en la tabla 3.14, de tal manera que permitan comunicar el valor de los beneficios que el suelo aporta, de este modo presentar resultados pertinentes que permite emitir recomendaciones sobre el uso y gestión del suelo.

Tab. 3.14: Formato para la presentación de resultados.

	<i>Beneficios</i>		
	Uso directo	Uso indirecto	No uso
<b>SUMINISTRO (oferta)</b>			
Provisión			
Regulación			
Culturales			
<b>USO (demanda)</b>			
Provisión			
Regulación			
Culturales			

FUENTE: elaborada a partir de La Notte *et al.*, 2017 [110].

En la tabla se pretende señalar una forma para mostrar el valor de los beneficios usando las categorías para clasificarlos con base en el uso, asimismo hace la distinción entre suministro y uso considerando que desde la etapa de mapeo de servicios ecosistémicos se comenzó a diferenciar entre estos elementos, de este modo suministro se refiere al estatus actual o a la capacidad del suelo para suministrar servicios ecosistémicos tomando en cuenta los casos en que sea posible hacer esa estimación, por otro lado uso se refiere al uso máximo posible que se hace de los beneficios ya que hay casos muy evidentes en los que no puede valuarse el suministro, stock o estatus (concretamente la mayoría de SE culturales y algunos de regulación) por lo que tiene que hacerse desde esa óptica.

Es importante considerar que los datos más relevantes no tendrán relevancia si no son analizados y presentados de modo que favorezcan la toma de decisiones. Por otro lado, en la medida de lo posible, se tiene que evitar un exceso de análisis usando técnicas estadísticas mal aplicadas o usar datos que no satisfacen las exigencias analíticas ya que esto puede llevar a obtener resultados no confiables, que no reflejen el valor del suelo ni la realidad ambiental en torno al suelo en el área

estudiada y que no sean compresibles por los usuarios.

Se requiere que los datos y la información sean interpretados adecuadamente, para que la información sobre el valor del suelo pueda comunicarse efectivamente, con rapidez y que sea de fácil comprensión, por lo tanto se requiere concentrar la información en cuadros claros y concisos para reducir el volumen de detalles. Asegurarse de que los materiales analizados e interpretados sean creíbles y que si hay resultados inesperados o inusuales estén debidamente respaldados (asegurar la calidad tanto de los datos como de la información que se genere).

Asimismo se requiere mostrar la información en materiales descriptivos breves, concisos y claros orientados a audiencias con objetivos específicos e integrarla de tal forma que se pueda visualizar la información en su conjunto, en última instancia en esta etapa se pretende comenzar a inventariar los beneficios que el suelo aporta para poder gestionar los servicios ecosistémicos asociados al recurso.

Finalmente se considera que una vez estimado el valor del suelo en un punto dado en el tiempo, tomando en cuenta que el suelo es esencialmente un recurso no renovable, en caso de que el suelo se degrade o agote su capacidad funcional la pérdida de los beneficios que suministra se harán sentir durante varias décadas o incluso siglos [77]. Por tanto, es necesario tener en cuenta no sólo el valor actual, sino también tener en cuenta su valor futuro, para lo cual se debe incorporar el concepto de cambio del suelo [155], como pauta para modelar la variación en su capacidad funcional y su valor a lo largo del tiempo.

### Etapa VII: Recomendaciones

Las recomendaciones se formulan en función de los datos obtenidos a partir de la estimación del valor de los beneficios que el suelo suministra en un área determinada y bajo los objetivos específicos que se planteen en cada estudio. Sin embargo de manera generalizada deben ir orientadas a elevar la percepción sobre el valor del suelo en todas las personas [168].

Ciertamente plantear la identificación de actores relevantes permite que se emitan recomendaciones para cada grupos de ellos, en ese sentido pueden tomarse algunas recomendaciones en el contexto de la conservación del suelo enfocada al suministro de servicios ecosistémicos, tomadas de las pautas para la acción de la *World Soil Charter* en la que menciona que todos los actores deben garantizar que los suelos se gestionen de manera sostenible y que los suelos degradados se rehabiliten o restablezcan [65]. De esta manera se alienta a los actores en todos los niveles, desde las organizaciones internacionales, los estados, autoridades públicas, grupos y corporaciones, hasta llegar a individuos a considerar las siguientes acciones presentadas en la tabla 3.15.

Tab. 3.15: Acciones recomendadas sobre la gestión de suelos para cada grupo de actores.

<i>Actores</i>	<i>Acciones</i>
Usuarios del suelo	i) Aplicar métodos que protejan la calidad del suelo, es decir, medidas de protección para el suelo contra la erosión, contra la contaminación, o cualquier otro factor que deteriore su calidad. ii) Implementar las opciones económicamente más deseables a fin de ir cambiando hacia prácticas de manejo o uso sostenible del suelo, a múltiples escalas y en todos los niveles. iii) Fomentar mayor participación en cuanto a la protección del suelo.
Sector privado	i) Todos los individuos que usan o manejan el suelo deben actuar como administradores de este recurso natural esencial para garantizar que se gestione de manera sostenible y salvaguardarlo para las generaciones futuras. ii) Empezar una gestión sostenible del suelo en la producción de bienes y servicios. iii) Entablar conversaciones con las partes interesadas de todos los sectores directamente afectados por los cambios en los servicios ecosistémicos para reducir los riesgos asociados con un vínculo más débil en la cadena de valor y aumentar las oportunidades de inversión en la gestión sostenible del suelo. Esto requiere que se identifiquen las vías de impacto relevantes y adecuadas, para promover y facilitar acciones que pueden ampliarse y extenderse.
Comunidad científica	i) Difundir información y conocimiento sobre suelos. ii) Enfatizar la importancia del manejo sostenible del suelo para evitar el deterioro de sus funciones clave. iii) Realizar más investigaciones para garantizar el uso extensivo y la protección de los suelos, las cuales incluyan cooperación interdisciplinaria.

*Continuación de la tabla 3.15*

Gobiernos	<p>i) Promover el manejo sostenible del suelo que sea relevante para la variedad de suelos presentes y las necesidades de cada país. ii) Esforzarse por crear condiciones socioeconómicas e institucionales favorables para la gestión sostenible del suelo mediante la eliminación de obstáculos, y buscar formas y medios para superar aquellos que limitan la adopción de un manejo sostenible del suelo asociado con la tenencia de la tierra, los derechos de los usuarios, el acceso a los servicios financieros y los programas educativos. Se hace referencia a las Directrices voluntarias sobre la gobernanza responsable de la tenencia de la tierra, los bosques y la pesca en el contexto de la seguridad alimentaria nacional aprobadas por el Comité de Seguridad Alimentaria Mundial en mayo de 2012. iii) Participar en el desarrollo de iniciativas multidisciplinarias, educativas e interdisciplinarias de fomento de la capacidad que promuevan la adopción de una gestión sostenible del suelo por parte de los usuarios de la tierra. iv) Apoyar programas de investigación que proporcionarán respaldo científico sólido para el desarrollo y la implementación de la gestión sostenible del suelo relevante para los usuarios finales. v) Incorporar los principios y las prácticas de la gestión sostenible del suelo en la orientación normativa y la legislación en todos los niveles de gobierno, lo que idealmente conduciría al desarrollo de una política nacional sobre el suelo. vi) Considerar explícitamente el papel de las prácticas de gestión del suelo en la planificación para la adaptación y la mitigación del cambio climático y el mantenimiento de la biodiversidad. vii) Establecer e implementar regulaciones para limitar la acumulación de contaminantes más allá de los niveles establecidos para salvaguardar la salud y el bienestar humanos y facilitar la remediación de suelos contaminados que exceden estos niveles donde representan una amenaza para humanos, plantas y animales. viii) Desarrollar y mantener un sistema nacional de información de suelos y contribuir al desarrollo de un sistema global de información de suelos. ix) Desarrollar un marco institucional nacional para monitorear la implementación del manejo sostenible del suelo y el estado general de los recursos del suelo. x) Facilitar la adopción de las opciones económicamente más deseables sobre el suelo mediante la adaptación de los contextos legales, políticos, institucionales y económicos a escalas y niveles adecuados. xi) Planificar el desarrollo de la urbanización de manera que las zonas vecinas estén expuestas al mínimo daño posible; durante la planificación de los proyectos de ingeniería, los efectos en el suelo deben evaluarse de manera que el valor incluya medidas adecuadas de protección. xii) Generar una lista de los recursos del suelo como requisito previo para cualquier planificación.</p>
Organizaciones internacionales	<p>i) Facilitar la compilación, difusión y el acceso a informes fidedignos sobre el estado de los recursos mundiales de suelo y los protocolos de uso y gestión sostenible del mismo. ii) Coordinar los esfuerzos para desarrollar un sistema de información global preciso y de alta resolución sobre el suelo y asegurar su integración con otros sistemas mundiales de observación de la tierra. iii) Ayudar a los gobiernos, previa solicitud, a establecer una legislación, instituciones y procesos apropiados que les permitan montar, implementar y monitorear prácticas apropiadas de manejo sostenible de suelos.</p>

FUENTE: elaborado a partir de FAO & ITPS, 2015 [65].

#### 4. CASO DE ESTUDIO: EJIDOS DE XOCHIMILCO Y SAN GREGORIO ATLAPULCO

Este capítulo ejemplifica cómo se implementaría la metodología descrita previamente, por consiguiente la manera más viable de hacerlo es a través de un caso de estudio *piloto*, que se seleccionó según las recomendaciones de Flyvbjerg, 2006 [70], considerando la cantidad de información disponible, en ese sentido el ANP Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco constituye un ejemplo sumamente ilustrativo ya que se trata de un caso paradigmático para el estudio de los SE asociados al suelo pues en dicha área se encuentran presentes varios de ellos, y por otra parte ante la falta de datos y de criterios viables para asignar valor al suelo, es conveniente utilizar la información de los estudios que se han realizado en esa zona. Con este ejemplo se pretende ver que tan viable es la aplicación de esta metodología y detectar la información requerida para el análisis.

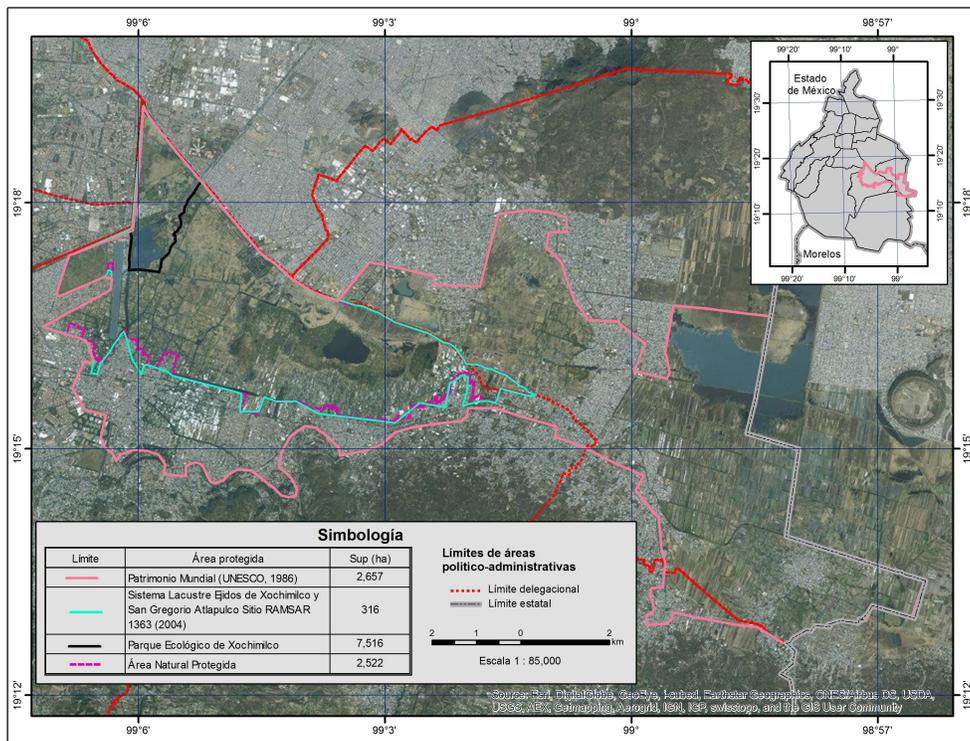
Las razones que guiaron la elección de esta zona de estudio para estimar el valor del suelo son las siguientes: i) Constituye un ecosistema representativo en la Cuenca de México con especies endémicas como el ajolote (*Ambystoma mexicanum*). ii) Constituye uno de los sitios más importantes dentro de la Ciudad de México por su importancia cultural y turística. iii) Es uno de los más importantes proveedores de servicios ecosistémicos de la Cuenca de México, incluida la producción agrícola.

Por medio de una revisión documental se buscó información que permitiera cuantificar y asignar valor a los beneficios derivados del suelo, dicha revisión incluyó documentos científicos como libros, tesis y artículos.

### Etapa I: Caracterización del área natural protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco

El estudio de la zona lacustre y chinampera es importante para entender el desarrollo cultural y social de la Cuenca de México. Por mucho tiempo Xochimilco abasteció a la Ciudad de México de productos agrícolas, mediante las chinampas como forma de cultivo, así como la utilización de canoas y trajineras como transporte para el comercio regional. Constituye la expresión de una cultura que está integrada por elementos básicos religiosos, relacionados con la agricultura y rituales que determinan en gran medida la vida, así como las relaciones familiares y comunales de sus pobladores. No obstante lo anterior a través del tiempo ha sufrido un continuo deterioro ambiental derivado de un inadecuado uso del suelo, presión de la mancha urbana, la extracción de agua para el abasto de la Ciudad, la descarga de aguas negras, entre muchos otros problemas [75].

Fig. 4.1: Ubicación del área natural protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.



FUENTE: tomado de Ponce de León Hill *et al.*, 2016 [146].

En la actualidad el papel de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco como proveedor de servicios ecosistémicos, principalmente alimentos y agua, en gran medida está relacionado con su origen y ubicación dentro de la Cuenca de México [124]. La figura 4.1 permite ubicar a esta área

natural protegida dentro de la zona chinampera que a su vez se localiza en la delegación Xochimilco. La altitud media de esta demarcación es de 2,240 m.s.n.m. La delegación colinda al norte con las delegaciones Tlalpan, Coyoacán, Iztapalapa y Tláhuac; al este con las de Tláhuac y Milpa Alta; al sur con las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan, y, al oeste, con la delegación Tlalpan sur del Distrito Federal [28].

Se aprecia que además de la denominación de ANP cuenta con otras más [143], lo que de alguna manera debe estar relacionado con el uso del suelo en la zona. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y parte del otoño; la precipitación media anual está entre 600 y 800 mm, la temperatura media anual es de 16° C, los meses más fríos van de noviembre a febrero [148].

El sistema lacustre Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco se ubica fisiográficamente en la provincia del Eje Neovolcánico, sub-provincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac, en el extremo sur de la Cuenca de México. Se originó al final del período terciario superior y principios del cuaternario; durante esta fase la parte sur del Valle fue obstruida por la formación de la Sierra del Chichinautzin, surgiendo la cuenca endorreica de México, y a partir de ello, el depósito de materiales de origen volcánico, aluvial y orgánico [83].

El suelo predominantemente es de origen antropogénico [106], y se les clasifica de acuerdo con la WRB como antrosol, que se caracterizan por presentar un color relativamente uniforme negro y gris oscuro en todo el perfil, una distribución vertical irregular de arcillas y de materia orgánica, que muchas veces aumenta con la profundidad del suelo y un alto porcentaje de carbono orgánico. Durante la estación seca se presenta una concentración variable de sales en los horizontes superficiales en la mayoría de los suelos [148]. Este tipo de suelo son formados, alterados o influenciados por intensas actividades agrícolas humanas, se asocian al manejo agrícola prologando en muchas partes del mundo, especialmente donde las civilizaciones antiguas estaban presentes [28].

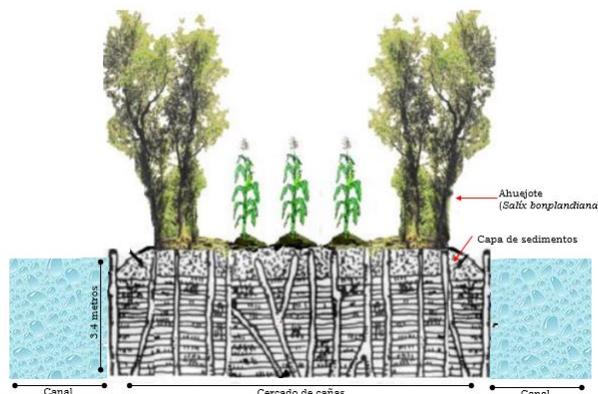
Esta formación incluye varios procesos inducidos por las actividades humanas en los sistemas agrícolas antiguos, como el riego y el drenaje periódicos, la acumulación continua mediante la aplicación de estiércol transportado u otros materiales del suelo, y la fertilización a largo plazo. Estos suelos a menudo están enriquecidos con fósforo y carbono, y se caracterizan por movimientos y acumulación de arcilla y complejos orgánicos de arcilla, reducción y oxidación de óxidos de hierro manganeso e incluso compactación física, procesos que ocurren a un ritmo acelerado en comparación con el natural. cambios en el suelo Esto resulta en una morfología especial del suelo y el desarrollo del horizonte del suelo, como la formación de un horizonte superficial con un alto contenido de materia orgánica, el desarrollo de arado compactado y la formación de características redoximórficas, todas

las cuales representan el resultado de la antropogénesis.

Los antrosoles constituyen la tierra agrícola más fértil del mundo y proporcionan alimentos como un servicio ecosistémico esencial. A menudo son una parte inherente de los sistemas agrícolas únicos y, como tal, también tienen una función cultural [106, 65].

La figura 4.2 esquematiza a las chinampas usadas para la agricultura, la superficie vegetal de Xochimilco se divide en: el 64.96 % es vegetación agrícola donde predominan la espinaca (*Spinacea spp.*) y el maíz (*Zea mays*), el 6.23 % son pastizales, el 5.55 % son bosques donde destacan las especies de oyamel (*Abies religiosa*), madroño (*Arbutus xalapensis*), pino-ocote (*Pinus moctezumae*) y encino (*Quercus spp.*) y el 22.36 % restantes lo representa algún otro tipo de vegetación [28].

Fig. 4.2: Esquematación de una chinampa típicamente usada para la siembra en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.



FUENTE: Carranza Bautista (2016, p. 19)

Entre las principales zonas que conforman el ANP se encuentran la ciénega chica y la ciénega grande, que son dos lagunas de regulación artificiales cuya función es el control del agua y evitar inundaciones; en la parte central se localiza el lago de conservación de flora y fauna, la zona mejor conservada del área. Las zonas productivas se ubican en el llamado distrito de riego, en el Ejido de San Gregorio Atlapulco y en la zona chinampera, en la que se incluyen superficies de Xochimilco, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxiátemalco. Existen áreas destinadas a las actividades culturales y deportivo-recreativas, entre las que destacan el Parque Ecológico de Xochimilco, el deportivo Cuemanco, el mercado de flores de Cuemanco y la pista olímpica de remo y canotaje Virgilio Uribe [75].

Con relación a las denominaciones asignadas al área de estudio en primer lugar se menciona la designación federal de Xochimilco en la que se decretó su categoría de zona de monumentos

históricos, a un área de 89.65 km, ubicada en las Delegaciones Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco. Con esta designación se buscó proteger la región de los monumentos históricos que contienen valores arqueológicos e históricos, así como la zona lacustre y chinampera de Tláhuac y Xochimilco, ya que se consideró como un sistema único de cultivo en el mundo, que tiene su origen en la época prehispánica. Asimismo Xochimilco es parte del Patrimonio Cultural de la Humanidad declarado por la UNESCO mediante la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural en el año de 1987. Se incluyó en esta importante lista porque el paisaje lacustre de Xochimilco constituye el único remanente de la ocupación del suelo tradicional en la zona lacustre de la cuenca de México antes de la conquista española, aunado al hecho de que se ha tornado vulnerable al impacto de las actividades Humanas en tanto que la presión de la urbe somete a la región a cambios irreversibles en su estructura. El Comité del Patrimonio Mundial puede excluir de la lista cualquier bien que se haya deteriorado al extremo de perder las características que determinaron su inscripción, es por eso que desde que se declaró Patrimonio Cultural de la Humanidad, se ha hecho mayor énfasis en desarrollar y gestionar políticas de conservación en la región. Como respuesta a la declaratoria de Xochimilco como Patrimonio Cultural de la Humanidad, por orden presidencial se decretó a Xochimilco como área natural protegida bajo la categoría de zona sujeta a protección ecológica [143].

La tabla 4.1 concentra la mayor parte de la información expuesta previamente y algunos otros datos adicionales con el fin de que permitan la caracterización del área de estudio, debe notarse que la tabla está basada en el marco de sistemas socioecológicos, y en la medida de lo posible se incluye la información que dicho marco señala.

Tab. 4.1: Criterios para realizar la caracterización del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

<i>Criterio</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
<b>Sistema de recursos</b>		
Tipo de suelo	Se ha clasificado como antrosol sálico térrico.	Krasilnikov <i>et al.</i> , 2013
Estado del suelo (calidad/salud)	El 83 % de la superficie de la zona chinampera presenta problemas de salinidad.	Guevara <i>et al.</i> , 2015
	El contenido de materia orgánica es elevado principalmente en el capa superficial, disminuyendo gradualmente conforme	Ramos-Bello <i>et al.</i> , 2011
Uso del suelo	A partir de las categorías descritas en el capítulo 3, el uso predominante del suelo es para actividades de conservación	GODF, 2006
Cobertura del suelo	A partir de las categorías descritas en el capítulo 3, principalmente se trata de cultivos herbáceos	GODF, 2006
Tipo de ecosistema	Algunos autores lo describen como un agroecosistema urbano	Ibarra <i>et al.</i> , 2013
Ubicación	En la porción centro-norte de la delegación Xochimilco. Coordenadas geográficas latitud Norte 19°16'41" y longitud Oeste 99°04'41"	Instituto de Geofísica, UNAM, 2016; INEGI, 2016
Superficie	2,619 ha, que constituyen el 20.41 % de la zona lacustre y chinampera de la delegación	Instituto de Geofísica, UNAM, (2016)
Denominación	Zona de monumentos históricos	Pérez-Mújica, 2012
	Sitio Ramsar	INEGI, 2016
	Zona sujeta a conservación ecológica	GODF, 2006
	Patrimonio de la humanidad	INEGI, 2014
Vegetación terrestre	La más representativa se encuentra integrada por <i>Salix bonplandiana</i> (ahuejote), <i>Baccharis salicifolia</i> (hierba del carbonero) y por <i>Taxodium mucronatum</i> (ahuehuete).	GODF, 2006
Vegetación acuática	Está representada por lirio acuático ( <i>Eichhornia crassipes</i> ), tule <i>Typha latifolia</i> (tule), <i>Berula erecta</i> (berro) y tule ( <i>Schoenoplectus americanus</i> )	GODF, 2006
Amenazas contra el suelo	Principalmente la salinización, que se agrava por la presencia de un aquitardo que actúa como capa impermeable	Guevara <i>et al.</i> , 2015
<b>Ecosistemas relacionados</b>		
Clima	Se considera subhúmedo con lluvias de verano; la temperatura media anual oscila entre 12-18 °C.	Ramos- Bello, et al., 2011

Continuación de la tabla 4.1

<b>Entorno social, económico y político</b>		
Contexto socioeconómico	Para evaluar los aspectos socioeconómicos se consideraron principalmente dos fuentes: el Cuaderno Estadístico Delegacional Xochimilco del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y la información base disponible del Marco Geoestadístico Nacional, que son las Áreas Geográficas de Estadística Básica (AGEB), división político-administrativa del país que se ajusta a los límites de las delegaciones políticas y está definida por elementos naturales y/o culturales. En torno al ANP se encuentran 44 AGEB's, todas ubicadas en la Delegación Xochimilco y distribuidas de la siguiente forma. AGEB's totalmente dentro del ANP. Se estima un total de 5,269 personas en 7 AGEB's. Se calcula que existen 1,118 viviendas particulares cuyo grado de consolidación es intermedio con tendencia a alto, debido a la cobertura de servicios con que cuentan y a los materiales de construcción utilizados. El 62 % (681) de éstas cuenta con todos los servicios; sólo 1 % no tiene energía eléctrica; 2 % no cuenta con agua entubada y una tercera parte carece de drenaje. Únicamente 238 viviendas (21 %) han sido construidas con materiales ligeros o precarios.	GODF, 2006
Contexto sociocultural	La colonización de las riberas lacustres se inició hace cinco mil años, aproximadamente, y con ello dio comienzo la transformación del paisaje acuático. Las referencias históricas señalan que los xochimilcas fueron la primera tribu nahuatlaca de las siete que salieron de la mítica Chicomostoc, guiados por Huetzalin. Al llegar a la cuenca de México, hacia el año 900 d.C., se asentaron en un lugar llamado Ahuilazco, después pasaron por Tlacotenco, Santa Ana y Milpa Alta, hasta asentarse en el Cerro Cuahilama, ubicado en Santa Cruz Acalpixcan. En el siglo XIV d.C. la población se trasladó y asentó de manera definitiva en una pequeña península llamada Tlilan <i>en lo negro</i> , localizada en el Centro de Xochimilco	GODF, 2006
Actividades económicas	Principalmente actividades turísticas y agrícolas	Merlín-Uribe, 2013
<b>Sistema de gobernanza</b>		

*Continuación de la tabla 4.1*

Tenencia de la tierra	Los diferentes procesos expropiatorios, dotaciones y restituciones de terrenos a los ejidos han generado diferentes formas de tenencia de la tierra dentro del Área Natural Protegida, dando como resultado una situación en la que coexisten el ejido, la copropiedad y los terrenos propiedad del Gobierno del Distrito Federal, así como la propiedad privada.	GODF, 2006
Proyectos de rescate de Xochimilco	i) Programa para la recuperación de la zona lacustre Xochimilco-Tláhuac (FAO, 1985), ii) Plan de rescate ecológico de Xochimilco, Departamento del Distrito Federal (1884), iii) Propuesta Ejidal en respuesta al Plan de Rescate, Ejidos de Xochimilco (1884), iv) Xochimilco un proceso de gestión participativa (Sitio patrimonial), UNESCO-México (2006), v) Plan de manejo del ANP, CORENA (2006), vi) Programa Delegacional Xochimilco, Delegación Xochimilco (2009-2012), vii) Rescate integral de la zona ecológica Canal de Apatlaco, FONCA-Delegación Xochimilco (2017), viii) Rescate integral de la zona ecológica Canal Achicalco, FONCA-Delegación Xochimilco (2017)	Pérez-Mújica, 2012, actualizado con información de FONCA,

FUENTE: Elaborado a partir de los autores mencionados en la tabla.

*Etapa II: Mapeo de servicios ecosistémicos suministrados por el suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.*

Para comenzar con el mapeo de servicios ecosistémicos tomamos como base la calificación generalizada para la capacidad de suministrar SE indicada para el tipo de suelo principal en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco clasificado como antrosol, esto de acuerdo con FAO & ITPS [65], en la tabla 4.2 se califica en escala de 1 a 5 la capacidad que tiene el suelo para suministrar determinados servicios ecosistémicos siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta, con lo cual se señala que en general posee elevada capacidad (considerando la ponderación que los autores reportan) para producir biomasa a través de cultivos, para la regulación climática, para el control hidrológico y para suministrar servicios culturales por lo que se debe prestar mayor atención a estas categorías y teniendo presente que van orientados a la seguridad alimentaria.

*Tab. 4.2: Calificación generalizada para el suministro de servicios ecosistémicos para el suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.*

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Productos alimenticios</i>	<i>Regulación del clima</i>	<i>Regulación hidrológica</i>	<i>Culturales</i>	<i>TOTAL</i>	<i>Servicios ecosistémicos orientados a</i>
Antrosol	5	5	5	4	19	Seguridad alimentaria

FUENTE: FAO & ITPS, 2015 [65].

En cuanto al estado del suelo, es importante mencionar que la mayoría de las publicaciones referidas al suelo de Xochimilco se centran en la salinidad y en el contenido de materia orgánica [143], desde luego debido a su importancia para la agricultura en la zona, de lo cual se destaca que a excepción de Mazari-Hiriart & Zambrano [124] y Ponce de León-Hill *et al.*, [146] se ha escrito poco sobre las funciones del suelo y la relación de estas con los servicios ecosistémicos. De este modo, y acorde a la caracterización previa, se buscó la información que permita llevar a cabo el mapeo de los servicios mencionados.

En ese sentido para incorporar los usos del suelo en la zona se retoma lo establecido en el plan de manejo para Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco [75], de la que se extrae la zonificación presentada en la tabla 4.3, en la cual se muestra que hay una zona de producción agrícola que ocupa la mayor extensión del ANP, asimismo hay una zona de uso público en la que se realizan diversas actividades turísticas, recreativas y culturales, así como un área expresamente dedicada a la conservación en la que no se produce ni se permiten actividades públicas.

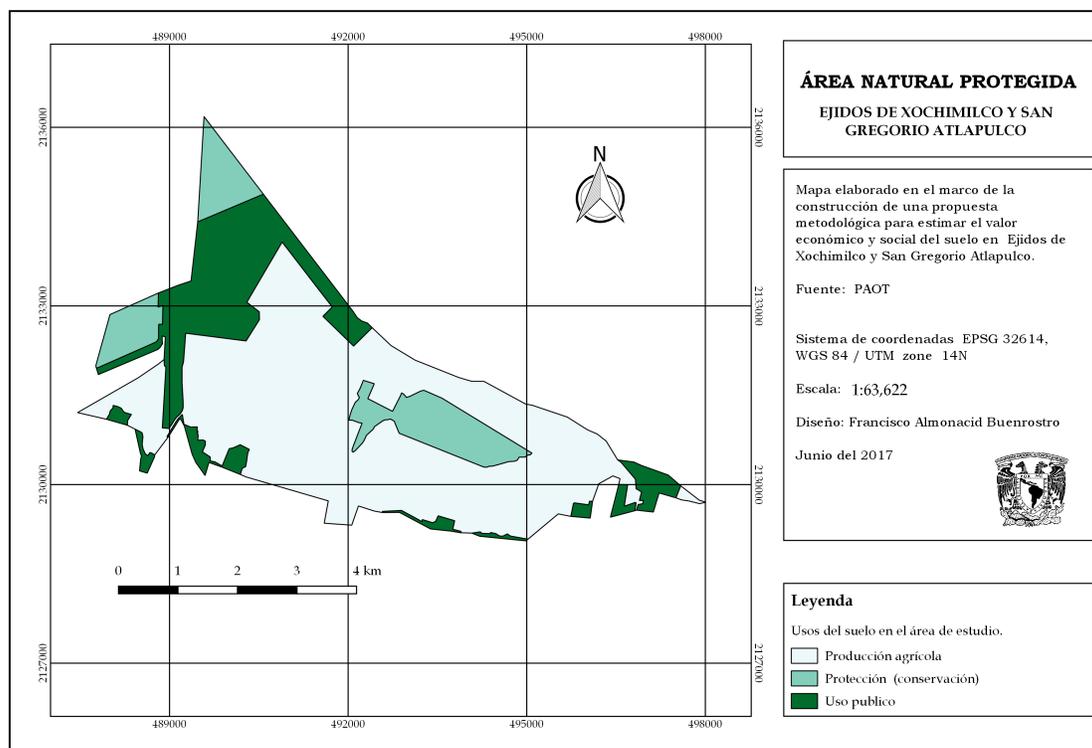
Tab. 4.3: Zonificación en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

Zona	Extensión (ha)
Protección	357
Zona chinampera y agrícola de temporal	1722
Uso público	540
<b>Total</b>	<b>2619</b>

FUENTE: GODF, 2006 [75, pág 41].

Con la finalidad de visualizar con mayor claridad que zona del área de estudio se destina para cada uso de suelo y por lo tanto en cuál de ellas se lleva a cabo la apropiación de beneficios provenientes de los distintos SE, en la figura 4.3 se puede apreciar su distribución espacial.

Fig. 4.3: Usos del suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.



Fuente: PAOT [140].

Sin embargo los servicios ecosistémicos relacionados con la regulación hidrológica no se pueden considerar tan a la ligera ya que no es homogéneo el suministro en el área, lo que influye en la calidad del agua, y en el suministro de agua potable y al aporte de agua a la región y a la ciudad,

esto debido a las diferencias de conductividad hidráulica del suelo y a su ubicación dentro de la cuenca [124]. De aquí la importancia de conocer con la mayor precisión posible el estado del suelo y no generar información espuria que enmascara su valor.

La tabla 4.4 muestra los servicios ecosistémicos que suministra el suelo en el ANP identificados a partir de la revisión documental, con la correspondiente especificación del indicador de mapeo que se usa. Así la producción de biomasa se mapeo a partir de la producción agrícola [92], el secuestro de carbono considerando mediciones hechas para comparar la retención de carbono a partir de la implementación de distintas prácticas de manejo sobre suelos [131]. El turismo, la observación de aves y la conservación de las chinampas a partir de la superficie en la zona con capacidad de suministrar cada uno de ellos [163, 151, 150].

Cabe recordar que esta manera de describir la información es solo un ejemplo de lo que se tendrá que hacer para llevar a cabo el mapeo de los servicios ecosistémicos, se está llevando a cabo a manera de estudio piloto para detectar las necesidades de datos y de qué tipo se requieren para realizar un mapeo adecuado, de este modo se tiene que pensar en considerar de qué forma el suelo contribuye a la producción de biomasa ya sea por medio del aporte de nutrientes, del suministro de agua para el crecimiento vegetal y también el papel que desempeña para la fijación de raíces vegetales. De forma similar deberá ocurrir con los restantes SE. Puede considerarse que el mapeo se lleva realizando dentro del enfoque estático descrito en el capítulo anterior.

Tab. 4.4: Mapeo de servicios ecosistémicos asociados al suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

<i>Categoría de SE</i>	<i>Servicio ecosistémico</i>	<i>Indicador</i>	<i>Unidades</i>	<i>Fuente de datos</i>
Provisión	Producción de biomasa	Superficie sembrada	ha	INEGI, 2014
Regulación	Regulación del clima y gases	Capacidad de retención de carbono	ton de C/ha	Navarro, 2013
Culturales	Herencia (conservación de las chinampas)	Superficie susceptible de suministrar el servicio	ha	Revollo-Fernández, 2015b
	Estéticos (observación de aves)	Superficie susceptible de suministrar el servicio	ha	Revollo-Fernández 2015a
	Recreativos (turismo)	Superficie en la que se realizan actividades turísticas	ha	SECTURDF, 2015

FUENTE: elaborada a partir de los autores que aparecen en la tabla.

*Etapas III: Cuantificación de beneficios derivados de los servicios ecosistémicos suministrados por el suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco*

Teniendo mapeados (identificados) los servicios ecosistémicos presentes en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco se buscaron los datos disponibles que proporcionarían la mayor información posible en el contexto de este ejemplo. Por lo tanto, retomando la información previamente presentada, los beneficios de que se derivan de los SE presentes en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco se muestran en la 4.5, y que se van a considerar en este estudio son la producción de biomasa a través de cultivo de hortalizas y de plantas ornamentales, el secuestro de carbono y servicios culturales entre los que se destacan el entretenimiento, la observación de aves y la conservación las chinampas.

Tab. 4.5: Beneficios derivados de los servicios ecosistémicos mapeados en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

<i>Categoría</i>	<i>Servicios ecosistémico</i>	<i>Beneficio</i>
Provisión	Producción de biomasa	Productos alimenticios (cultivos)
Regulación	Regulación del clima	Captura de carbono
Culturales	Interacciones físicas e intelectuales	Entretenimiento (Turismo)
		Observación de aves (Estético)
	Interacciones espirituales y simbólicas	Conservación de las chinampas (Legado)

FUENTE: elaboración propia.

Para cuantificar los beneficios mencionados se buscó tanto un indicador físico como uno económico (monetario), Cabe mencionar que la clasificación de los beneficios en espacial y especialmente la causal que los separa en directos e indirectos se aplica con poca frecuencia en la literatura sobre servicios ecosistémicos asociados al suelo y no se define claramente. Por estas razones, se recomienda usar la clasificación espacial para cuantificar aquellos de los se apropian in situ u off situ los distintos actores, o bien usar la clasificación basada en el uso. Los datos utilizados se concentran en la tabla 4.6, y a continuación se describen para cada beneficio:

*Servicios ecosistémicos de provisión*

*Cultivos.* Con datos reportados por el INEGI, 2014, en el anuario estadístico del entonces DF para el año agrícola 2013, considerando que el ANP representa el 20.41 % de la superficie total de la delegación y de ese porcentaje solo 1,722 ha se dedican a la producción agrícola en la zona, se tomó el tipo de cambio al 2013, se estableció un rango de  $\pm 10\%$  lo cual generó un valor que oscilaba

entre 2,384.6 - 11,683.8 \$US/ha/año. Por lo que se puede usar como indicador físico la superficie sembrada y como indicador económico el valor de la producción.

#### *Servicios ecosistémicos de regulación*

*Secuestro de carbono.*: para la estimación del valor del secuestro de carbono se buscó la capacidad de retención de C reportada para el tipo de suelo, sin embargo se logró encontrar con mayor especificad la información de mediciones hechas en el área de estudio, teniendo que el suelo posee un capacidad de almacenamiento de carbono que va de 97.9 a 124.5 ton/ha [131], mientras que el precio promedio<sup>1</sup> anual para cada tonelada de  $CO_2$  fue de 5.3 € para el 2016. Adicional a esto se considera una superficie de 357 ha que es la zona del área de estudio dedicada a la conservación.

#### *Servicios culturales*

*Belleza escénica.*: estimado a través de la conservación de las chinampas, en un estudio realizado por Revollo-Fernández, 2015b, se determinó por medio de valoración contingente que la existencia de las chinampas tiene valor para cierto sector de la población, que oscila entre 3000 - 3700 \$US/ha/año, se consideró una superficie de 1722 hectáreas ya que está corresponde al área en la que se realiza producción agrícola y por tanto donde se encuentran las chinampas.

*Observación de aves.*: a esta actividad también se le denomina aviturismo o turismo ornitológico, en un estudio realizado por Revollo-Fernández, 2015a, por medio de valoración contingente se determinó la disposición a pagar por observar aves, considerando observadores tanto nacionales como internacionales, se obtuvo un valor que va de 2836 - 3999 \$US/ha/año, y se consideró una superficie de 357 ha, ya que corresponde al área que se dedica a la conservación y por tanto donde es lógico que puedan observarse aves.

*Turismo.*: a partir de datos reportados por SECTUR, 2015, durante ese año se registraron 7.8 millones de viajes hacia el interior de la delegación Xochimilco, generando una derrama económica de 400 millones de pesos. Considerando que cada viaje generó la misma derrama se tienen 51.2 millones de pesos por viaje. Retomando que el ANP representa el 20.41 % de la superficie total, se puede asumir que ese mismo porcentaje de la derrama económica anual corresponde a los beneficios generados por el turismo en la zona de estudio, lo que representa 10.4 millones. Considerando que en el área de estudio solo 540 ha están destinadas a actividades de uso público, se estableció un rango de  $\pm 10\%$  y se obtiene un valor que oscila entre 755.1 - 2142.3 \$US/ha/año.

---

<sup>1</sup> Los precios del carbono se expresan como un valor por tonelada de equivalentes de  $CO_2$ , [183]

Tab. 4.6: Indicadores para estimar el valor de los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos suministrados por el suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

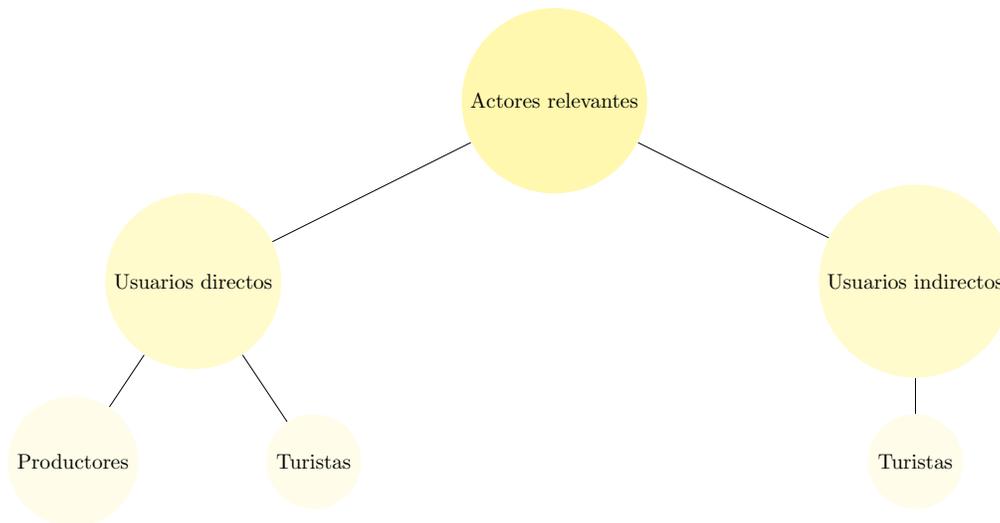
<i>Beneficio</i>	<i>Indicador físico</i>	<i>Unidad</i>	<i>Indicador económico</i>	<i>Unidad</i>	<i>Categoría de beneficio</i>
Productos alimenticios	Superficie sembrada		Valor de la producción		Uso directo
	1722	ha	2,384.6 - 11,683.8	\$US	
Secuestro de carbono	Capacidad de retención de C		Precio de la tonelada de C		No uso
	97.9 - 124.3	ton/ha	6.3	\$US/ton	
	Superficie en la que se captura C				
	357	ha			
Observación de aves	Superficie susceptible de prestar el servicio en cuestión		Disposición a pagar		Uso indirecto
	357	ha	2836-3999	\$US	
Conservación de chinampas	Superficie susceptible de prestar el servicio en cuestión		Disposición a pagar		Uso indirecto
	1722	ha	3000-3700	\$US	
Turismo	Superficie en la que se realizan actividades turísticas		Gasto en turismo		Uso directo
	540	ha	755.18 - 2142.34	\$US	

FUENTE: elaboración propia. Los indicadores económicos (monetarios) se encuentran en \$US/ha/año.

*Etapa IV: Identificación de actores relevantes en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco*

Tan pronto como se han identificado los servicios ecosistémicos y cuantificado los beneficios que se derivan de ellos en el ANP, se deben relacionar con aquellos actores para los cuales estos beneficios representan algún valor. Esta identificación es crucial para la estimación de valor aunque parezca no serlo, e.g. Revollo-Fernández, 2015a [150] determinó el valor que asignan distintos actores al servicio de observación de aves, es decir, los observadores nacionales están dispuestos a pagar aproximadamente 79\$US/año, mientras que los internacionales, 296 \$US/año. La figura 4.4 esquematiza los distintos actores identificados para el caso de estudio presentado, en este caso particular son los productores agrícolas y los turistas que realizan actividades recreativas quienes corresponden a la categoría de usuarios directos, mientras que en la categoría de usuarios indirectos se encuentran aquellos turistas que asignan valor a la conservación de las chinampas y a la observación de aves.

Fig. 4.4: Actores relevantes identificados en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.



FUENTE: elaboración propia.

Sobre esta identificación, los actores que pueden considerarse prioritarios principalmente son aquellos usuarios directos del suelo. La tabla 4.7 concentra a los actores que resultan relevantes a partir de la revisión documental que permite relacionarlos con la apropiación de beneficios descritos previamente. En la tabla se muestra su rol como actores, a que grupo de usuarios pertenecen, sus características, la razón por la que se incluyen y la fuente de la que se obtuvo la información.

Tab. 4.7: Identificación de actores relevantes en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

Actores	Grupo	Uso	Características	Prioridad	Fuente
Productores	Usuario	Directo	Los productores agrícolas son considerados determinantes para el cambio de uso de suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, convierten al suelo en tierras agrícolas, además los que ya realizan actividades agrícolas usando prácticas tradicionales pueden cambiar hacia prácticas de producción más intensivas.	Alta	Merlín-Urbe <i>et al.</i> , 2013; Revollo-Fernández, 2015a, 2015b
Turistas	Usuario	Directo	Realizan actividades recreativas dentro de área de estudio	Baja	SECTUR, 2015
Turistas	Usuarios	Indirecto	Apoyan causas o propuestas para la conservación o el uso sostenible del suelo, en este caso a través de la conservación de las chinampas y la observación de aves	Baja	Revollo-Fernández, 2015a, 2015b
Población en general	Usuario o NO usua- rios	Indirecto	Se benefician por la captura de carbono que se lleva a cabo en el área	Baja	Ponce de León-Hill <i>et al.</i> , 2016

FUENTE: elaboración propia a partir de los autores mencionados en la tabla.

*Etapa V: Asignación de valor monetario de los servicios ecosistémicos asociados al suelo.*

Para estimar el valor de los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos se considera si existe o no un mercado formal, o puede usarse un mercado sustituto o en todo caso simularlo. Como se muestra en la tabla 4.8 existen precios de mercado para la producción de biomasa, esto es el valor de la producción de cultivos, del mismo modo existe un precio de mercado para cada tonelada de carbono secuestrada asumiendo que el precio establecido considera al suelo como generador de ese beneficio. En cuanto al turismo se asume que se podrá asignar valor a través de un mercado sustituto. Por el contrario se tendrá que simular un mercado para asignar valor a la conservación de las chinampas como método de producción agrícola milenario y para la observación de aves.

Tab. 4.8: Técnicas de valoración aplicables al suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

<i>Mercado real</i>	<i>Mercado sustituto</i>	<i>Mercado simulado</i>
Precio de mercado	Costo de viaje	Valoración contingente
Producción de biomasa	Turismo	Observación de aves
Captura de carbono		Conservación de las chinampas

FUENTE: se adaptó para el caso de estudio con base en de Alba & Reyes, 1998 [49].

De acuerdo con la tabla 4.9 los tipos de valor económico que pueden obtenerse para cada beneficio son los siguientes, para la producción de biomasa valor de uso directo y/o valor de opción, para la captura de carbono valor de uso indirecto y/o valor de opción y finalmente para los servicios culturales, es decir, para el turismo, para la conservación de las chinampas y para la observación de aves puede obtenerse su valor de uso directo, su valor de opción así como su valor de no uso.

Tab. 4.9: Relación de los servicios ecosistémicos con los distintos componentes del valor total del suelo.

<i>Categoría</i>	<i>Beneficio</i>	<i>Valor de uso</i>			<i>Valor de no uso<sup>1</sup></i>
		<i>Directo</i>	<i>Indirecto</i>	<i>Opción</i>	
Provisión	Producción de biomasa	✓		✓	
Regulación	Captura de carbono		✓	✓	
Culturales	Conservación de las chinampas	✓		✓	✓
	Observación de aves	✓		✓	✓
	Turismo	✓		✓	✓

FUENTE: se adaptó para el caso de estudio a partir de Christie *et al.*, [35].

Como criterio para homogenizar los datos, se actualizaron los valores a precios del 2016 ya que correspondían a distintos años, y así para poder expresarlos en \$US/ha/año. Se consideró una superficie de 2619 ha para el ANP Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco [75], lo que representan el 20.41 % de la superficie total de la delegación Xochimilco [94].

En el capítulo anterior se describió cada una de las técnicas que pueden emplearse para asignar valor a los beneficios derivados del suelo (tabla 3.13), de esta manera los pasos para usar la técnica de los precios de mercado, del costo de viaje y de la transferencia de beneficios se enlistan a continuación.

*Técnica de precios de mercado:* se usó para determinar el valor tanto de la producción de biomasa como el valor de la captura de carbono. De manera general los pasos recomendados que se siguen son los siguientes:

1. Determinar el precio por comprar o vender un bien o producto
2. Recopilar datos sobre los precios de mercado del bien en cuestión
3. Estimar la cantidad consumida/vendida del bien o servicio en cuestión
4. Multiplicar el precio del bien por la cantidad consumida/vendida

De este modo el valor de la producción oscila entre 2,587.4 - 12,677.3 \$/ha/año, mientras que para el valor de la captura de carbono se obtuvo un valor que va 620.6 - 788.0 \$/ha/año.

*Técnica del costo de viaje:* se puede considerar que se está usando la técnica sin embargo los datos provienen del anuario estadístico de la Ciudad de México, la información está agregada a nivel delegacional, y que solo se pudo obtener el número de viajes realizados hacia la delegación, el gasto realizado en los mismos.

1. Identificar el área desde la cual vienen los visitantes, cuánto tiempo tardan y cuánto dinero gastaron para llegar al área que va a ser valorada, y sus características socioeconómicas
2. Estimar el costo de un viaje en función del número de visitantes, los costos realizados durante el viaje, el tiempo de viaje y las características socioeconómicas de los visitantes
3. Introducir una cuota (tarifa) hipotética de entrada y calcular el número esperado de visitantes del nuevo costo total (curva de demanda)
4. Calcular el excedente del consumidor de esta curva de demanda

*Técnica de transferencia de beneficios:* en este caso, dado que una cuantificación y asignación de valor de los beneficios mediante valoración contingente no es posible debido a la falta de datos empíricos, ante esto una segunda mejor alternativa es asignar valor a los beneficios cualitativamente, con el fin de reducir los requisitos de datos sustanciales asociados con la estimación de los valores, a través de transferir los resultados de estudios comparables que se han realizado previamente con el fin de investigar el valor de los beneficios que el suelo suministra a través de los SE que se asocian a este recurso [77, 170].

La transferencia de resultados empíricos a diferentes contextos temporales o espaciales ha sido discutida en la literatura bajo el título de transferencia de beneficios. Esta transferencia no es problemática, ya que presume un cierto grado de coherencia en el conjunto de datos subyacentes y los métodos económicos utilizados, así como en las condiciones económicas bajo las cuales se derivaron los resultados originales. Por lo tanto, los factores subyacentes que influyen en la valoración de los beneficios que el suelo suministra deben identificarse correctamente y medirse de manera comparable. Sin embargo, dado el alto esfuerzo (a menudo prohibitivo) requerido para recopilar datos primarios relacionados con el valor de los beneficios que el suelo aporta, la transferencia de beneficios hasta ahora parece ser el único enfoque factible para estimar los efectos a un nivel espacialmente agregado.

Retomando el hecho de emplear la técnica de transferencia de beneficios, los valores de estudios realizados en el área se insertan en el contexto de decisión de la presente investigación. Así se transfirieron beneficios de trabajos realizados en el área estudio, los datos se tomaron de estudios realizados por Revollo-Fernández, (2015c, 2015a, 2015b), siguiendo los siguientes pasos:

1. Identificar contextos de “origen”, esto es, los contextos desde los cuales se transferirá el valor económico, y sus características (niveles de ingresos, uso del suelo, cobertura, tipo de área)
2. Estimar de la disposición a pagar (DAP) en función de las características del contexto de origen
3. Utilizar las características del contexto a ser valorado en la ecuación de la disposición a pagar (DAP) obtenida (para el sitio de origen) y derivar la nueva disposición a pagar

Para finalizar esta etapa en la tabla 4.10 se sintetiza la estimación del valor de los beneficios derivados del suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, y también la información que se empleó, la fuente de la que se extrajo y los detalles relevantes del estudio original.

Tab. 4.10: Valor del suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

<i>Servicio ecosistémico</i>	<i>Valor nominal</i>	<i>Valor real*</i>	<i>Autor</i>	<i>Técnica</i>
Producción de biomasa	2,384.6 - 11,683.8	2,587.4 - 12,677.3	INEGI, 2014	Precio de mercado
Captura de carbono		620.6 - 788.0	Navarro. 2016	Precio de mercado
Turismo	711.0 - 2,017.2	755.1 - 2,142.3	SECTURDF, 2015	Costo de viaje
Belleza escénica (Chinampas)	3,000.0 - 3,700.0	2,835.8 - 3,497.5	Revollo-Fernández, 2015b	Transferencia de beneficios
Recreación (observación de aves)	2,836.0 - 3,999.0	2,680.8 - 3,780.2	Revollo-Fernández 2015a	Transferencia de beneficios
<b>TOTAL</b>		<b>9,479.8 - 22,885.3</b>		

FUENTE: elaboración propia. \* Valores en \$US, actualizados a precios del 2016.

### Etapa VI: Presentación de resultados

Una vez que se estimó el valor de los beneficios derivados de SE asociados al suelo se integran en la tabla 4.11. La finalidad de presentarlo de esa manera es poder apreciar los valores en función de las categorías que sean de mayor interés para el estudio, de este modo se tienen valores en función del uso que se hace de los beneficios derivados del suelo.

Tab. 4.11: Formato para la presentación de resultados.

	<i>Beneficios</i>			<b>TOTAL</b>
	Uso directo	Uso indirecto	No uso	
<b>SUMINISTRO (oferta)</b>				
Provisión				
Regulación				
Culturales				
<b>USO (demanda)</b>				
Provisión	2,587.4 - 12,677.3			<b>2,587.4 - 12,677.3</b>
Regulación			620.6 - 788	<b>620.6 - 788</b>
Culturales	755.1 - 2142.3	2,680.8 - 3,780.2		<b>6271.7 - 9420</b>
		2,835.8 - 3,497.5		
<b>TOTAL</b>	<b>3,342.54 - 14,819.61</b>	<b>5,516.6 - 7,277.7</b>	<b>620.6 - 788</b>	

FUENTE: elaboración propia. Los valores están dados en \$/ha/año.

Con la información disponible, se tiene que el valor del suelo en el ANP Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco oscila entre 9,479.83 - 22,885.31 \$US/ha/año, el cual corresponde solo a 5 beneficios que pudieron cuantificarse a pesar de la falta de indicadores adecuados. El valor de los beneficios de uso directo oscila entre 3,342.54 - 14,819.61 \$/ha/año. El valor de los beneficios de uso indirecto va de 5,516.6 a 7,277.7 \$/ha/año, mientras que los beneficios de no uso 620.6 - 788 \$/ha/año.

Si quiere verse desde el tipo de servicio ecosistémico se tiene que los servicios de provisión tienen valor de 2,587.4 - 12,677.3 \$/ha/año. Los servicios de regulación de 620.6 - 788 \$/ha/año, mientras que los culturales 6271.7 - 9420 \$/ha/año, este último rango de valor equivale al valor social, como se ha venido señalando el valor social se asigna a los SE culturales. Estos datos muestran solo una parte del valor del suelo, que en general se subestima. El mejoramiento de los mercados es un área particularmente relevante de la investigación económica, concretamente los SE asociados al suelo deben ser analizados y manejados simultáneamente considerando las diferentes escalas en las que

tienen influencia. Se aprecia que el valor de los beneficios sociales es mayor que el de los beneficios privados.

Con el objeto de comparar la información con lo reportado recientemente, por ejemplo Jónsson *et al.*, 2017 [100], muestra valores que no se corresponden con estas estimaciones, lo cual tienen sentido ya que los datos utilizados en esta investigación corresponden a estudios realizados en contextos de decisión distinto al del valor del suelo. Pero realizar este ejercicio permite observar que aspectos de la metodología se tienen que mejorar o cambiar.

*Etapa VII: Recomendaciones.*

Las recomendaciones en este caso específico deben apuntar hacia las prácticas de manejo sostenibles por parte de los usuarios directos, principalmente los productores agrícolas. Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco así como requiere de un programa de restauración, debido a que en los últimos años se ha deteriorado gravemente [124]. Las zonas chinamperas que aún subsisten tienen el potencial de abastecer de una cantidad importante de alimentos para la ciudad de México, y se podría dejar de importarlos de otros sitios.

Se requiere reconocer el valor de los SE suministrados por el suelo en la zona, aún en su estado actual, como la producción de alimentos, plantas ornamentales, secuestro de carbono, regulación del clima, regulación de los excedentes de agua en época de lluvias, así como la generación de un microclima para la zona sur de la ciudad, y otros más que requieren de un análisis serio y bien realizado sobre el suelo del ANP. Adicional a lo que corresponde a los SE culturales que también son muy importantes para este sitio en especial.

En consecuencia, en estas circunstancias es necesario establecer además de un sistema institucional y político para compatibilizar el óptimo o la condición deseada por la sociedad con la contabilización del suelo como un activo importante de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco.

En un plano más general sobre la implementación de esta metodología se establece la necesidad de contar con información que permita evaluar la capacidad funcional de los suelos, es decir, llevar a cabo las siguientes acciones: i) realizar un análisis de los enfoques y optimización de herramientas disponibles para mapear (identificar) servicios ecosistémicos que permitan con mayor objetividad asignar valor a los que se asocian al suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco; ii) identificar patrones y trayectorias de servicios ecosistémicos asociados al suelo en Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco para destacar cuáles son prioritarios o están en mayor riesgo; iii) determinar que prácticas de protección y uso sostenible del suelo se articulan más efectivamente a las necesidades de Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco y a las necesidades de la sociedad, así como reconocer qué problemas necesitan ser comprendidos con mayor profundidad.

## 5. CONSIDERACIONES FINALES

### *Discusión*

Esta sección describe los hallazgos generales de la investigación, originados a raíz de la implementación de un caso de estudio piloto, en virtud de que son sumamente escasos los estudios que analizan al suelo esta aproximación a su valor, como punto de partida, puede considerarse metodológicamente válida. Aún sobre la base de datos colectados a partir de otros estudios ha permitido comenzar a establecer la ruta analítica para hacer estimaciones sobre el valor del suelo.

Como era de esperarse la dificultad principal fue la escasez de información así como la falta de acceso a ella ya que coleccionar los datos no es factible y el tiempo es limitado. En ese sentido la necesidad principal de información son indicadores que permitan el mapeo y cuantificación de servicios ecosistémicos, idealmente basados en las funciones de este recurso, estos indicadores deben permitir establecer la capacidad potencial del suelo para suministrar SE (i.e. la cantidad total, stock presente del recurso, estatus, flujo potencial), así como la capacidad real para suministrarlos y el uso que se hace de los mismos (i.e. la cantidad que se extrae o utiliza, el rendimiento o flujo actual). En el ANEXO I se presenta un pequeño avance preliminar para comenzar la construcción de dichos indicadores.

Desde la perspectiva teórica surgió como reto principal lograr el tránsito argumentativo entre aquellos trabajos que abordan los aspectos estrictamente biofísicos que soportan al suministro de servicios ecosistémicos del suelo y aquellos que focalizan su valor, fundamentalmente económico, la intención no fue presentar estas dos vertientes de manera independiente sino encontrar la relación que existe entre ambas y que permita hacer explícita la gran importancia de este recurso. Para ello fue necesario revisar de manera crítica los aspectos teóricos sobre el valor de los servicios ecosistémicos para detectar que requerimientos son necesarios para dotar de legitimidad esta propuesta.

Para el caso del suelo un riesgo mayor que incurrir en doble recuento de servicios ecosistémicos es la ausencia de realismo biofísico ya que al desconocer el estado actual del suelo se le asignan

valores asumiendo que se llevan a cabo los procesos que soportan el suministro de SE, en ese sentido se requiere de evidencia científica (adicional al instrumental analítico propio de la economía) que permita generar soluciones que coincidan con la magnitud de los desafíos que enfrenta el suelo como parte de los ecosistemas en un territorio.

Debido a que el funcionamiento del suelo visto como sistema complejo demanda explicaciones y descripciones complejas, como señaló Ostrom [138], se requiere tomar en consideración y tratar de entender la existencia de estructuras dentro de estructuras, esto es, que el suministro de SE incluye el funcionamiento del suelo que está determinado por su estado (calidad y salud) pero que también depende del uso que se hace del suelo y de la cobertura del mismo, y a su vez estas estructuras se hallan dentro de otras de orden superior como los límites del ecosistema, el entorno social, económico y político; para evitar caer en excesos de certidumbre en modelos y soluciones simples que sobreestiman la comprensión sobre dicho proceso y subestiman la complejidad e incertidumbre inherentes, ofreciendo descripciones simples a problemas complejos que generan lecturas que empobrecen la realidad y que desafortunadamente no permiten que se reconozca el valor del suelo.

La evidencia sugiere que en general sobre el suelo, como objeto de estudio y resaltando que se trata de un *objeto de frontera*, se desconoce su funcionamiento y por lo tanto sus funciones no son consideradas ni reflejadas dentro de las estimaciones de su valor [2]. Por lo que no hay claridad acerca de si se está asignando valor al stock (sistema de recursos) o al flujo de servicios ecosistémicos (unidades de recursos). Por lo general, la económica computa en sus cuentas los beneficios, derivados de los SE, que tienen un valor tangible de mercado (e.g., alimentos, materias primas, agua, turismo). Sin embargo, el suelo representa un activo ambiental generador de una amplia gama de beneficios, incluyendo aquellos muchas veces intangibles que se derivan o no de su uso, cuya pérdida impone un alto costo que la sociedad no percibe fácilmente. La estimación del valor del suelo no está reservada a un único enfoque, no es tarea para una disciplina particular, ni está restringida al interés de un solo sector de la sociedad.

Sobre la definición y caracterización del área de estudio, básicamente se necesita la información que permita integrar en términos espaciales al territorio que habrá de analizarse en conjunto con la información relacionada con el suelo, principalmente su tipo, estado (calidad y salud), su uso y cobertura, esto para dar el contexto necesario para mapear los SE, cuantificar sus beneficios y asignarles valor, evidentemente considerando aquellos actores que son relevantes dentro de este proceso.

Para mapear los servicios ecosistémicos provenientes del suelo, se requiere determinar su capa-

cidad potencial y real para suministrarlos, se necesita integrar información como su uso, tipo de suelo, su estado/condición, información que permita cuantificar sus funciones [2, 55, 56, 57, 58], ya que adicional a la amplia diversidad edáfica cada uno de los tipos de suelo posee capacidad diferenciada para suministrar servicios ecosistémicos [65]. Porque como mencionan Jónsson *et al.*, 2017 [100], es necesario capturar la dinámica del suelo, y es necesario relacionar las prácticas de manejo y uso del suelo con sus funciones. La complejidad de las interrelaciones entre las funciones del suelo debe determinarse mediante la cuantificación de los procesos del suelo, principalmente a través de medición empírica y modelado matemático. Asimismo considerar la escala adecuada para que la información que se genere sea relevante.

Cada uno de los distintos beneficios derivados de los servicios ecosistémicos asociados al suelo, debe cuantificarse en términos físicos y monetarios (económicos), en los casos que sea posible cuantificar la capacidad potencial y la real para suministrar SE, esto es, un indicador físico que cuantifique los beneficios que derivan de su capacidad potencial para suministrar SE, del mismo modo uno que cuantifique su capacidad real, la cuantificación económica debe ir en la misma dirección [110].

Con relación a la identificación de actores relevantes en el contexto de la estimación del valor del suelo, se aprecia que existen diversos actores con distinta capacidad de apropiación de beneficios los cuales asignan valores distintos al suelo. Identificando aquellos que son clave en cuanto a la apropiación de beneficios y que generan impactos que repercuten en el suministro de servicios ecosistémicos se pueden diseñar medidas específicas dirigidas a cada uno de estos grupos [65].

En la asignación de valor a los distintos beneficios que aporta el suelo, es necesario mencionar que cualquier estimación del valor estará llena de incertidumbres y tendrá que basarse en una serie de supuestos. Sin embargo, si los supuestos y las incertidumbres están suficientemente explicados y motivados, es posible indicar al menos (si no las cantidades exactas) el orden de magnitud del valor de los beneficios. En ese sentido, hasta ahora, la forma en que se aplican las técnicas de valoración ha sido fácilmente impugnada bajo el argumento de que enfatiza solo el valor de uso del suelo, adicional a la relativa subjetividad de las técnicas usadas [114]. Lo cierto es que es innegable el potencial del instrumental analítico de la economía, principalmente cuando se utiliza bajo un adecuado diseño metodológico permitiendo hacer explícito y comunicar el valor del suelo, y si está basado en sus funciones se podrán generar estimaciones confiables.

Las técnicas para asignar valor, principalmente en las basadas en la demanda o también descritas como basadas en la economía neoclásica [91], requieren considerar que existen algunos aspectos

teóricos poco discutidos como el teorema de la imposibilidad de Arrow, así como la racionalidad limitada, y como se ha visto el hecho de que la economía neoclásica no captura la esencia no renovable e insustituible del suelo, por lo que de manera crítica debe revisarse la opción de abordar el valor del suelo desde otros enfoques, como la bioeconomía, la economía circular, la economía pluralista, entre otros.

Aunque sea metodológicamente contencioso, realizar transferencia de beneficios para estimar el valor del suelo puede ser defendible siempre y cuando los beneficios entre los diferentes tipos de SE asociados al suelo no difieran demasiado. En la medida de lo posible considerar si es viable una forma modificada de transferencia de beneficios entre calidad del suelo y servicios ecosistémicos, e.g. el soporte para la biodiversidad del suelo puede ser aproximado a través del contenido de materia orgánica o el contenido de agua puede aproximarse por medio de la capacidad de intercambio catiónico o la textura del suelo [77].

Los resultados sobre el valor del suelo, deben presentarse de manera que aporte la mayor información posible condensada en materiales que sean comprensibles para los usuarios de la misma. En este orden de ideas es sumamente necesario e importante considerar la dimensión espacial al momento de presentar los resultados, esto es generar materiales cartográficos que concentren los resultados.

Las recomendaciones deben ir dirigidas de manera muy puntal para cada grupo de actores tanto aquellos que se relacionan con el suministro de SE como aquellos que puedan incidir en la capacidad del suelo para suministrarlos. Sin duda además de la especificidad para focalizar las recomendaciones en función del grupo de actores se requiere también incorporar recomendaciones orientadas para cada tipo de suelo o para territorios específicos.

La aproximación metodológica desarrollada en esta investigación en un contexto más amplio puede aplicarse a diversas escalas, y puede servir para generar información por encima del nivel de casos de estudio y relacionarla con objetivos de orden superior, los resultados que pueden obtenerse son ampliamente aplicables y contribuir a la solución de diversas problemáticas, por ejemplo la degradación del suelo. Además, haciendo los ajustes necesarios serviría para generar parte de la información que se requiere para incorporar al suelo en los sistema de cuentas económicas y ambientales de la manera que está comenzando a implementarse a nivel global [110, 156].

## Conclusiones

En esta tesis se presentó la adaptación de un marco para analizar cómo se estima el valor del suelo, en ese sentido esta investigación contribuye al presentar un enfoque conceptual como primer paso para el desarrollo de un marco metodológico que permita llevar a cabo el mapeo de los flujos biofísicos procedentes del suelo a los cuales se les asignan distintos valores. Esto debido a que en términos analíticos faltan herramientas metodológicas y operativas para vincular la capacidad funcional del suelo a los SE y con distintas actividades económicas, que permitan cuantificar su contribución al suministro de SE y principalmente estimar el valor de este recurso bien sea como un recurso individual que puede medirse y contabilizarse de manera aislada e independiente o bien contabilizar al suelo que se combina con otros activos ambientales para suministrar servicios ecosistémicos.

En ese sentido la identificación, cuantificación y eventual asignación de valor a los servicios ecosistémicos asociados al suelo es sumamente relevante, ya que no siempre son reconocidos por los usuarios del suelo ni por los tomadores de decisiones, aun cuando generan distintos efectos a diferentes escalas y que repercuten en el bienestar de las personas, por lo que *reconocer su valor así como su importancia son un asunto de interés público*.

La caracterización de los servicios ecosistémicos que se asocian al suelo debe hacerse en el contexto de la calidad de este recurso y se logra a partir de sus funciones. Se observó que para poder integrar la capacidad funcional del suelo es necesario que se incorporen en el mapeo de servicios ecosistémicos el tipo, estado, el uso y la cobertura del suelo, lo que permitirá establecer modelos, funciones de producción y asignarles valor con lo que se logre tanto su inserción en las políticas públicas así como su contabilización en las cuentas económicas y ambientales. La aplicación de la metodología propuesta en un caso de estudio piloto revela que la principal necesidad de información recae en la construcción de indicadores para cuantificar al suelo en términos biofísicos y monetarios para cada uso específico de suelo.

En concreto el valor del suelo tiene que estimarse a partir de los beneficios que suministra en un área determinada a diversos usuarios, cabe resaltar que este valor no es del todo percibido por el desconocimiento acerca de las funciones que realiza. Por lo que es necesario hacerlas explícitas para que sean visibles por la gran importancia que tienen en términos económicos, sociales y ambientales.

El valor social del suelo se deriva de los servicios ecosistémicos culturales, es una construcción social que se considera esencial para la propia identidad y existencia de las personas, estos SE no

se consideran como tal provenientes de flujos biofísicos pero están soportados por ellos, si bien el valor social no puede captarse plenamente mediante técnicas de valoración económica, deben complementarse con otros enfoques para informar la toma de decisiones con respecto a este.

Sobre la información necesaria para llevar a cabo un estudio sobre el valor del suelo, como se ha señalado, en primer lugar se requiere construir indicadores para cuantificar en términos biofísicos y monetarios los flujos ecológicos provenientes del suelo, concretamente que permitan cuantificar sus funciones para fines muy específicos de su uso, manejo y gestión ya que en cada caso los intereses de los usuarios o beneficiarios son diferentes. La evidencia muestra que no existe información relevante que indique todas las funciones del suelo, la mayoría de la información reportada hace referencia al estatus del suelo pero no necesariamente a sus funciones, por lo que se tiene que realizar una consulta a expertos.

Con relación al desarrollo de la metodología y en virtud de que se requiere de criterios estandarizados que permitan asignar valor al suelo, aplicar el enfoque ecosistémico permite incorporar posturas teóricas que orienten la comprensión de su capacidad para suministrar beneficios a la sociedad, entender cuáles son los factores que determinan o limitan tal suministro y principalmente cómo se deben construir los indicadores para asignarles valor, aún más importante es señalar que dentro de este enfoque caben varias perspectivas económicas por lo que no representa dificultad alguna para adoptarse dentro de la Economía.

Finalmente se puede plantear como reto a corto plazo la construcción de los ya tan mencionados indicadores que permitan la cuantificación del suelo en términos biofísicos y monetarios para transformar esta propuesta metodológica, a pesar de sus limitaciones e incertidumbres, en un modelo operacional para la incorporación del valor del suelo en la toma de decisiones respecto a su uso y gestión, contabilizándolo como un activo ambiental y en los casos que se requiera atendiendo a la necesidad de hacerlo desde un enfoque integrado en el que el suelo se combina con otros activos ambientales para suministrar servicios ecosistémicos, por lo que algunas opciones susceptibles de explorarse son:

- Índice de especialización ecosistémica basado en suelos.
- Modelo bioeconómico de aprovechamiento sostenible de suelos.
- Economía experimental para analizar las decisiones que determinan la degradación o la conservación de suelos.

## Bibliografía

- [1] Adhikari, B., & Nadella, K. (2011). Ecological economics of soil erosion: a review of the current state of knowledge. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1219, 134-152. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05910.x>
- [2] Adhikari, K., & Hartemink, A. E. (2016). Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma*, 262, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.009>
- [3] Aggarwal, P. K. (1993). Agro-ecological zoning using crop growth simulation models: characterization of wheat environments of India. En de Vries, Teng, & Metselaar (Eds.), *Systems approaches for agricultural development* (pp. 97-109). Dordrecht: Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-2842-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2842-1_6)
- [4] Alexander, P., Paustian, K., Smith, P., & Moran, D. (2015). The economics of soil C sequestration and agricultural emissions abatement. *SOIL*, 1, 331-339. <https://doi.org/10.5194/soil-1-331-2015>
- [5] Arrouays, D., Leenaars, J. G. B., Richer-de-Forges, A. C., Adhikari, K., Ballabio, C., Greve, M.,...Rodriguez, D. (2017). Soil legacy data rescue via Global Soil Map and other international and national initiatives. *GeoResJ*, 14, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.grj.2017.06.001>
- [6] Arshad, M.A., & Coen, G.M. (1992). Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7, 25-31.
- [7] Balmford, A. (2002). Economic Reasons for Conserving Wild Nature. *Science*, 297(5583), 950-953. <https://doi.org/10.1126/science.1073947>
- [8] Balvanera, P., & Cotler, H. (2009). Estado y tendencias de los servicios ecosistémicos. En *Capital natural de México* (Vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio, pp. 185-245). México: CONABIO.

- 
- [9] Banwart, S. A., Bernasconi, S. M., Blum, W. E. H., de Souza, D. M., Chabaux, F., Duffy, C.,...Zhang, B. (2017). Soil Functions in Earth's Critical Zone. En *Advances in Agronomy* (Vol. 142, pp. 1-27). Elsevier. Recuperado el 5 de septiembre de 2017, a partir de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065211316301249>
- [10] Baquero de la Cruz, G. (1964). Aspectos económicos de la conservación de suelos. *Revista de Estudios Agrosociales*, 46, 7-32.
- [11] Barkin, D., Fuente Carrasco, M. E., & Tagle, D. (2012). La significación de una Economía Ecológica radical. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 19, 1-14.
- [12] Barredo C. J. I., Annemarie, B. B., Teller A., Onaindia M., Fernández de Manuel B., Mada-riaga I,...Schmullius C. (2015). Mapping and assessment of forest ecosystems and their services - Applications and guidance for decision making in the framework of MAES. Washington DC,: JRC Science Hub. EUR 27751 EN. JRC98777. <https://doi.org/doi:10.2788/720519>
- [13] Bastian, O., Syrbe, R. U., Rosenberg, M., Rahe, D., & Grunewald, K. (2013). The five pillar EPPS framework for quantifying, mapping and managing ecosystem services. *Ecosystem Services*, 4, 15-24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.04.003>
- [14] Baveye, P. C., Baveye, J., & Gowdy, J. (2016). Soil "Ecosystem" Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00041>
- [15] Blanco-Jarvio, A., Chávez-López, C., Luna-Guido, M., Dendooven, L., & Cabirol, N. (2011). Denitrification in a chinampa soil of Mexico City as affected by methylparathion: A laboratory study. *European Journal of Soil Biology*, 47(5), 271-278.
- [16] Blum, W. E. H. (2005). Functions of Soil for Society and the Environment. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 4(3), 75-79. <https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x>
- [17] Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D., & Voulvoulis, N. (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*, 36(6), 609-622. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.04.010>

- [18] Bouma, J., Kwakernaak, C., Bonfante, A., Stoorvogel, J. J., & Dekker, L. W. (2015). Soil science input in transdisciplinary projects in the Netherlands and Italy. *Geoderma Regional*, 5, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.04.002>
- [19] Boyd, J., & Banzhaf, S. (2007). What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. *Ecological Economics*, 63(2-3), 616-626. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.002>
- [20] Brady, N.C., & R.R. Weil, 2002. *The nature and properties of soils*, 13th Ed. Prentice- Hall Inc., New Jersey, USA. 960p.
- [21] Bravo-Espinosa, M., Mendoza, M. E., Medina-Orozco, L., Prat, C., García-Oliva, F., & López-Granados, E. (2009). Runoff, soil loss, and nutrient depletion under traditional and alternative cropping systems in the Transmexican Volcanic Belt, Central Mexico. *Land Degradation & Development*, 20(6), 640-653. <https://doi.org/10.1002/ldr.953>
- [22] Breure, A. M., Lijzen, J. P. A., & Maring, L. (2018). Soil and land management in a circular economy. *Science of The Total Environment*, 624, 1125-1130. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.137>
- [23] Brussaard, L. (1997). Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. *Ambio*, 26(8), 563-570. <http://www.jstor.org/stable/4314670>
- [24] Brussaard, L., de Ruiter, P. C., & Brown, G. G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 121(3), 233-244. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>
- [25] Bullock, P., & Gregory, P. J. (Eds.). (1991). *Soils in the Urban Environment*. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444310603>
- [26] Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.019>
- [27] Cai, W., Gibbs, D., Zhang, L., Ferrier, G., & Cai, Y. (2017). Identifying hotspots and management of critical ecosystem services in rapidly urbanizing Yangtze River Delta Region, China. *Journal of Environmental Management*, 191, 258-267. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.003>

- 
- [28] Carranza Bautista, H. D. (2016). Absorción de metales por lechuga (*Lactuca sativa L.*) cultivada en chinampas de San Gregorio Atlapulco Xochimilco (Tesis de Maestría). UNAM, Ciudad de México.
- [29] Castellarini, F., Siebe, C., Lazos, E., de la Tejera, B., Cotler, H., Pacheco, C.,...Balvanera, P. (2014). Un esquema socio-ecológico y espacial para el diseño de políticas para la sustentabilidad: México como caso de estudio. *Investigación ambiental*, 6(2).
- [30] Cebrián-Piqueras, M. A., Karrasch, L., & Kleyer, M. (2017). Coupling stakeholder assessments of ecosystem services with biophysical ecosystem properties reveals importance of social contexts. *Ecosystem Services*, 23, 108-115. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.009>
- [31] Centro de Estudios para el Desarrollo Sustentable y Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). (2015). Recurso Suelo. Elementos para la definición de una política pública en México (Reporte). Ciudad de México.
- [32] Challenger, A., Bocco, G., Equihua, M., Lazos Chavero, E., & Maass, M. (2014). La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México. *Investigación ambiental*, 6(2), 1-21.
- [33] Chávez-López, C., Blanco-Jarvio, A., Luna-Guido, M., Dendooven, L., & Cabirol, N. (2011). Removal of methyl parathion from a chinampa agricultural soil of Xochimilco Mexico: A laboratory study. *European Journal of Soil Biology*, 47(4), 264-269. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.06.001>
- [34] Christie, M., Fazey, I., Cooper, R., Hyde, T., Deri, A., Hughes, L., Bush, G., Brander, L., Nahman, A., de Lange, W., & Reyers, B. (2008). An evaluation of economic and non-economic techniques for assessing the importance of biodiversity to people in developing countries. (ROAME; No. CR 0391). Defra, London. Recuperado el 17 de abril de 2017, a partir de <https://research.vu.nl/en/publications/an-evaluation-of-economic-and-non-economic-techniques-for-assessi>
- [35] Christie, M., Fazey, I., Cooper, R., Hyde, T., & Kenter, J. O. (2012). An evaluation of monetary and non-monetary techniques for assessing the importance of biodiversity and ecosystem services to people in countries with developing economies. *Ecological Economics*, 83(Supplement C), 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.012>

- [36] CICES. (2011). Common International Clasification of Ecosystem Services (CICES). Recuperado el 24 de mayo de 2017, a partir de <https://cices.eu/>
- [37] Comerford, N. B., Franzluebbers, A. J., Stromberger, M. E., Morris, L., Markewitz, D., & Moore, R. (2013). Assessment and Evaluation of Soil Ecosystem Services. *Soil Horizons*, 54(3), 1-14. <https://doi.org/10.2136/sh12-10-0028>
- [38] Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B.,...van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- [39] Costanza, R., Groot, R. de, Sutton, P., Sander van der Ploeg, Anderson, S. J., Kubiszewski, I.,...Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002>
- [40] Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 5-71.
- [41] Cotler, H., López, C. A., & Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación ambiental*, 3(2), 31-43.
- [42] Cotler, H., Cram, S., Martinez-Trinidad, S., & Quintanar, E. (2013). Forest soil conservation in central Mexico: An interdisciplinary assessment. *Catena*, 104, 280-287. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.12.005>
- [43] Cotler, H., Cram, S., Martínez Trinidad, S., & Bunge, V. (2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera, 88, 6-18. <https://doi.org/10.14350/rig.47378>
- [44] Cotler, H., & Cuevas Fernández, M. L. (2017). Estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México (1a. edición). Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P. Espacios Naturales y Desarrollo Sustentable A.C.
- [45] Crouzat, E., Mouchet, M., Turkelboom, F., Byczek, C., Meersmans, J., Berger, F.,...Lavorel, S. (2015). Assessing bundles of ecosystem services from regional to landscape scale: insights from the French Alps. *Journal of Applied Ecology*, 52, 1145-1155. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12502>

- 
- [46] Daily, G.C, Matson, P.A, & Vitousek, P.M. (1997). Ecosystem Services Supplied by Soil. En *Nature's Services: Social Dependence on Natural Ecosystems* (pp. 113-132). Washington DC,: Island Press.
- [47] Daily, G.C., Söderqvist, T., Aniyar, S., Arrow, K., Dasgupta, P.,....(2000). The value of nature and the nature of value. *Science*, 289, 395-396. <https://doi.org/10.1126/science.289.5478.395>
- [48] Daily, G. C., & Matson, P. A. (2008). From theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28), 9455-9456. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804960105>
- [49] de Alba, E., & Reyes, M. E. (1998). Valoración económica de los recursos biológicos del país. En CONABIO (Ed.), *La diversidad biológica de México: Estudio de País, 1998* (1a ed., pp. 212-233). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- [50] de Gooyert, V., Rouwette, E., van Kranenburg, H., & Freeman, E. (2017). Reviewing the role of stakeholders in Operational Research: A stakeholder theory perspective. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 402-410. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.03.079>
- [51] de Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. . (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)
- [52] de Groot, R., Van der Perk, J., Chiesura, A., & van Vliet A. (2003). Importance and threat as determining factors for criticality of natural capital. *Ecological Economics*, 44 (2-3) (2003), pp. 187-204.
- [53] de Groot, R. S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7(3), 260-272. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- [54] Delgado-Serrano, M. del M., & Ramos, P. (2015). Making Ostrom's framework applicable to characterise social ecological systems at the local level. *International Journal of the Commons*, 9(2), 808. <https://doi.org/10.18352/ijc.567>
- [55] Dominati, E. J., Patterson, M., & Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics*, 69(9), 1858-1868. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.05.002>

- [56] Dominati, E. J., Mackay, A., Green, S., & Patterson, M. (2014). A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: A case study of pastoral agriculture in New Zealand. *Ecological Economics*, 100, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.008>
- [57] Dominati, E. J., Mackay, A. D., Bouma, J., & Green, S. (2016). An Ecosystems Approach to Quantify Soil Performance for Multiple Outcomes: The Future of Land Evaluation? *Soil Science Society of America Journal*, 80, 438-449. <https://doi.org/10.2136/sssaj2015.07.0266>
- [58] Dominati, E., Mackay, A., & Rendel, J. (2017). Understanding Soils' Contribution to Ecosystem Services Provision to Inform Farm System Analysis. En D. J. Field, C. L. S. Morgan, & A. B. McBratney (Eds.), *Global Soil Security* (pp. 207-217). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-43394-3\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-43394-3_18)
- [59] Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. En *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (pp. 1-21). Madison, WI: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- [60] ELD Initiative. (2015a). Pathways and options for action and stakeholder engagement, based on the 2015 ELD Massive Open Online Course "Stakeholder Engagement". Practitioner's Guide. Recuperado el 25 de mayo de 2016, a partir de [www.eld-initiative.org](http://www.eld-initiative.org)
- [61] ELD Initiative. (2015b). User Guide: A 6+1 step approach to assess the economics of land management. Bonn, Germany.: GIZ. Recuperado el 25 de mayo de 2016, a partir de [www.eld-initiative.org](http://www.eld-initiative.org)
- [62] ELD Initiative. (2015c). The value of land: Prosperous lands and positive rewards through sustainable land management. (ELD Main Report). Recuperado el 25 de mayo de 2016, a partir de [www.eld-initiative.org](http://www.eld-initiative.org)
- [63] Euler, J. (2018). Conceptualizing the Commons: Moving Beyond the Goods-based Definition by Introducing the Social Practices of Commoning as Vital Determinant. *Ecological Economics*, 143(Supplement C), 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.020>
- [64] European Commission. (2014). System of Environmental Economic Accounting 2012 - Central Framework. Recuperado el 8 de septiembre de 2017, a partir de <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-01-14-120>

- 
- [65] FAO & ITPS. (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. Rome, Italy: Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Recuperado el 8 de abril de 2016, a partir de <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>
- [66] Farley, J. (2012). Ecosystem services: The economics debate. *Ecosystem Services*, 1(1), 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.002>
- [67] Ferrarini Andrea, Claudio Bini, & Stefano Amaducci. (2017). Soil and ecosystem services: Current knowledge and evidences from Italian case studies. *Applied Soil Ecology*. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.031>
- [68] Fisher, B., & Turner, R. (2008). Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 141(5), 1167-1169. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.02.019>
- [69] Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- [70] Flyvbjerg, B. (2006). Five Misunderstandings About Case-Study Research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), 219-245. <https://doi.org/10.1177/1077800405284363>
- [71] Freeman III, A. M., Herriges, J. A., & Kling, C. L. (2014). *The Measurement of Environmental and Resource Values (Third)*. Taylor & Francis. Recuperado el 24 de octubre de 2016, a partir de <https://www.routledge.com/products/9780415501583>
- [72] GAEZ. (2015). Global agro-ecological zones. Recuperado el 23 de julio del 2016 a partir de [www.fao.org/nr/gaez/en](http://www.fao.org/nr/gaez/en)
- [73] Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A.,...Vargas, R. (Eds.). (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. L-2995* Luxemburgo: Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea,. Recuperado a partir de 10.2788/37334
- [74] Giannakis, G. V., Nikolaidis, N. P., Valstar, J., Rowe, E. C., Moirogiorgou, K., Kotronakis, M.,...Banwart, S. A. (2017). Integrated Critical Zone Model (1D-ICZ). En *Advances in Agronomy* (Vol. 142, pp. 277-314). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.009>

- [75] GODF. Acuerdo por el que se aprueba el Programa De Manejo Del Área Natural Protegida con carácter de Zona De Conservación Ecológica “Ejidros de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”.(2006). Recuperado el 23 de septiembre de 2017, a partir de [http://www.paot.org.mx/transparencia/doc/2011/segundo trimestre/Reglas\\_sistema\\_integral\\_2011.pdf](http://www.paot.org.mx/transparencia/doc/2011/segundo_trimestre/Reglas_sistema_integral_2011.pdf)
- [76] Gómez-Baggethun, E., de Groot, R., Lomas, P. L., & Montes, C. (2010). The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69(6), 1209-1218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.007>
- [77] Görlach, B., Landgrebe-Trinkunaite, R., & Interwies, E. (2004). Assessing the Economic Impacts of Soil Degradation. Final Report (Volume I: Literature review No. ENV.B.1/ETU/2003/0024) (p. 95). Berlin: Ecologic: European Commission DG Environment. Recuperado el 15 de octubre de 2016, a partir de [http://ecologic.eu/sites/files/download/projekte/1950-1999/1962/1962\\_soil\\_economics\\_1\\_lit\\_review.pdf](http://ecologic.eu/sites/files/download/projekte/1950-1999/1962/1962_soil_economics_1_lit_review.pdf)
- [78] Gould, J. P., & Lazear, E. P. (1994). *Teoría microeconómica*. (Suárez, E. L., Trad.) (3a ed.). México: FCE.
- [79] Greiner, L., Keller, A., Grêt-Regamey, A., & Papritz, A. (2017). Soil function assessment: review of methods for quantifying the contributions of soils to ecosystem services. *Land Use Policy*, 69, 224-237. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.06.025>
- [80] Grimble, R., & Wellard, K. (1997). Stakeholder methodologies in natural resource management: a review of principles, contexts, experiences and opportunities. *Agricultural Systems*, 55(2), 173-193. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00006-1)
- [81] Grossman, M., & Koops, W. J. (1988). Multiphasic Analysis of Lactation Curves in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, 71(6), 1598-1608. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79723-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79723-4)
- [82] Guerrero, E., Pérez, A., Arroyo, C., Equihua, J., & Guevara, M. (2014). Building a national framework for pedometric mapping: Soil depth as an example from Mexico. En D. Arrouays,

- 
- N. McKenzie, J. Hempel, A. de Forges, & A. McBratney (Eds.), *GlobalSoilMap* (pp. 103-108). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16500-22>
- [83] Guevara, O. B. K., Ortega Escobar, H. M., Ríos Gómez, R., Solano, E., & Vanegas Rico, J. M. (2015). Morfología y geoquímica de suelos en Xochimilco. *Terra Latinoamericana*, 33, 263-273.
- [84] Gunton, R. M., van Asperen, E. N., Basden, A., Bookless, D., Araya, Y., Hanson, D. R.,...Jones, G. O. (2017). Beyond Ecosystem Services: Valuing the Invaluable. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(4), 249-257. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2017.01.002>
- [85] Haines-Young, R. & Potschin, M.B. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Recuperado el 9 de enero de 2018, a partir de [www.cices.eu](http://www.cices.eu)
- [86] Haslmayr, H - P., Geitner, C., Sutor, G., Knoll, A., & Baumgarten, A. (2016). Soil function evaluation in Austria-Development, concepts and examples. *Geoderma*, 264(Part B), 379-387. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.023>
- [87] Held, R. B., & Clawson, M. (2013). *Soil Conservation in Perspective*. Routledge. Recuperado el 15 de agosto de 2016, a partir de <https://www.crcpress.com/Soil-Conservation-in-Perspective/Held-Clawson/p/book/9781617260124>
- [88] Huguenin, M. T., Leggett, C. G., & Paterson, R. W. (2006). Economic valuation of soil fauna. *European Journal of Soil Biology*, 42, S16-S22. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.003>
- [89] Hurni, H., Giger, M., Liniger, H., Mekdaschi Studer, R., Messerli, P., Portner, B.,...Breu, T. (2015). Soils, agriculture and food security: the interplay between ecosystem functioning and human well-being. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 15, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.07.009>
- [90] Ibarra, A. A., Zambrano, L., Valiente, E. L., & Ramos-Bueno, A. (2013). Enhancing the potential value of environmental services in urban wetlands: An agro-ecosystem approach. *Cities*, 31, 438-443. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2012.08.002>
- [91] Ibarra, A. A. (2016). Valoración económica de los servicios ecosistémicos. En *La biodiversidad en la Ciudad de México* (Vol. III, pp. 236-239). México: CONABIO/SEDEMA.

- [92] INEGI. (2016). Anuario estadístico y geográfico del Distrito Federal 2014.
- [93] INEGI. (2016). Anuario estadístico y geográfico de la Ciudad de México 2016.
- [94] Instituto de Geofísica UNAM. (2016). Atlas de peligros y/o riesgos de la delegación Xochimilco 2015 (Versión final). Recuperado el 23 de febrero de 2017, a partir de <http://www.atlasmacionalderiesgos.gob.mx/app/CoberturaMunicipal/>
- [95] Izac, A.-M. N. (1997). Developing policies for soil carbon management in tropical regions. *Geoderma*, 79, 261-276. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00044-X)
- [96] Jax, K. (2005). Function and “functioning” in ecology: what does it mean?, 111(3), 641-648. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2005.13851.x>
- [97] Jäger, J. (2009). Land Rent Theory. En *International Encyclopedia of Human Geography* (pp. 112-117). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.01059-2>
- [98] Jónsson, J. Ö. G., & Davíðsdóttir, B. (2016). Classification and valuation of soil ecosystem services. *Agricultural Systems*, 145, 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.010>
- [99] Jónsson, J. Ö. G., Davíðsdóttir, B., Jónsdóttir, E. M., Kristinsdóttir, S. M., & Ragnarsdóttir, K. V. (2016). Soil indicators for sustainable development: A transdisciplinary approach for indicator development using expert stakeholders. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232, 179-189. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.009>
- [100] Jónsson, J. Ö. G., Davíðsdóttir, B., & Nikolaidis, N. P. (2017). Valuation of Soil Ecosystem Services. En *Advances in Agronomy* (Vol. 142, pp. 353-384). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.011>
- [101] Juerges, N., & Hansjürgens, B. (2018). Soil governance in the transition towards a sustainable bioeconomy - A review. *Journal of Cleaner Production*, 170, 1628-1639. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.143>
- [102] Karlen, D. L., Andrews, S. S., Wienhold, B. J., & Zobeck, T. M. (2008). Soil Quality Assessment: Past, Present and Future. *Electronic Journal of Integrative Biosciences*, 6(1), 3-14.
- [103] Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework

- 
- for Evaluation (A Guest Editorial). *Soil Science Society of America*, 61, 4-10. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>
- [104] Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittonell, P., Smith, P., Cerdà, A.,...Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *SOIL*, 2(2), 111-128. <https://doi.org/10.5194/soil-2-111-2016>
- [105] Khaledian, Y., Farshad Kiani, Ebrahimi, S., Brevik, E. C., & Aitkenhead-Peterson, J. (2016). Assessment and Monitoring of Soil Degradation during Land Use Change Using Multivariate Analysis. *Land Degradation & Development*, 28(1), 128-141. <https://doi.org/10.1002/ldr.2541>
- [106] Krasilnikov, P., Gutiérrez-Castorena, M. del C., Ahrens, R. J., Cruz-Gaistardo, C. O., Sedov, S., & Solleiro-Rebolledo, E. (2013). *The Soils of Mexico* (1a ed.). Springer Netherlands. Recuperado el 15 de abril de 2016, a partir de 10.1007/978-94-007-5660-1
- [107] Krupa, M. B. (2016). Who's who in the Kenai River Fishery SES: A streamlined method for stakeholder identification and investment analysis. *Marine Policy*, 71, 194-200. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.06.001>
- [108] Kumar, P. (Ed.). (2012). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Recuperado el 17 de julio de 2017, a partir de <https://www.crcpress.com/The-Economics-of-Ecosystems-and-Biodiversity-Ecological-and-Economic-Foundations/Kumar/p/book/9780415501088>
- [109] *La Literatura Gris*. (2011). *Formación Universitaria*, Vol. 4. <https://doi.org/10.4067/S071850062011000600001>
- [110] La Notte A., Vallecillo S., Polce C., Zulian G., & Maes J. 2017. Implementing an EU system of accounting for ecosystems and their services. Initial proposals for the implementation of ecosystem services accounts, EUR 28681 EN; Publications Office of the European Union, Luxembourg, JRC107150. <https://doi:10.2760/214137>
- [111] Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>

- [112] Lal, R., & Stewart, B. A. (Eds.). (2010a). Food security and soil quality. CRC Press.
- [113] Lal, R., & Stewart, B. A. (2010b). Soil quality and biofuel production (1a ed.). United States of America: CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [114] Laterra, P., Jobbágy, E., & Paruelo, J. (Eds.). (2011). Valoración de Servicios Ecosistémicos. Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial. Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.
- [115] Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F.,...Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, S3-S15. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>
- [116] Lin, Y -P., Lin, W-C., Li, H-Y., Wang, Y-C., Hsu, C-C., Lien, W-Y., & Petway, J. R. (2017). Integrating Social Values and Ecosystem Services in Systematic Conservation Planning: A Case Study in Datuan Watershed. *Sustainability*, 9(5), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su9050718>
- [117] Ma, Y., Minasny, B., & Wu, C. (2017). Mapping key soil properties to support agricultural production in Eastern China. *Geoderma Regional*, 10, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.06.002>
- [118] Maes, J., Egoh, B., Willemen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J. P.,...Bidoglio, G. (2012). Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 1(1), 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.004>
- [119] Makovníková, J., Kanianska, R., & Kizeková, M. (2017). The ecosystem services supplied by soil in relation to land use. *Hungarian Geographical Bulletin*, 66(1), 37-42. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.66.1.4>
- [120] Maldonado, J. H. (2008). Economía de recursos naturales: aplicaciones de economía computacional en la solución de problemas dinámicos. Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Economía, Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico, CEDE.
- [121] Malone, B. P., Minasny, B., & McBratney, A. B. (2017). Using R for Digital Soil Mapping. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44327-0>

- 
- [122] Martínez-Harms, M. J. (2010). Cuantificación y mapeo de servicios ecosistémicos en una cuenca mexicana: implicaciones para su conservación y manejo (Tesis Doctoral). UNAM, Morelia, Michoacán.
- [123] Martínez-Harms, M. J., & Balvanera, P. (2012). Methods for mapping ecosystem service supply: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 8(1-2), 17-25. <https://doi.org/10.1080/21513732.2012.663792>
- [124] Mazari-Hiriart Marisa, & Zambrano, L. (2016). Xochimilco: su importancia en la provisión de servicios ecosistémicos. En *La biodiversidad en la Ciudad de México* (Vol. III, pp. 240-255). México: CONABIO/SEDEMA.
- [125] McGinnis, M. D., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19(2). <https://doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- [126] MEA. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being 5*. Washington, DC: Island Press.
- [127] Merlín-Uribe, Y., Contreras-Hernández, A., Astier-Calderón, M., Jensen, O. P., Zaragoza, R., & Zambrano, L. (2013). Urban expansion into a protected natural area in Mexico City: alternative management scenarios. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(3), 398-411. <https://doi.org/10.1080/09640568.2012.683686>
- [128] Merlín-Uribe, Y., González-Esquivel, C. E., Hernández, A. C., Zambrano, L., Moreno-Casasola, P., & Astier, M. (2013). Environmental and socio-economic sustainability of chinampas (raised beds) in Xochimilco, Mexico City. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 11:3, 216-233. <https://doi.org/10.1080/14735903.2012.726128>
- [129] Minasny, B., Malone, B. P., McBratney, A. B., Angers, D. A., Arrouays, D., Chambers, A.,...Winowiecki, L. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
- [130] Mohamed, E. S., Morgun, E. G., & Kovda, I. V. (2011). Assessment of Soil Degradation in the Eastern Part of the Nile Delta. *Moscow University Soil Science Bulletin*, 66(3), 86-92. <https://doi.org/10.3103/S0147687411030069>

- [131] Navarro Pérez de León, N. M. (2013). Optimización del secuestro de carbono a través de la agricultura chinampera y la aplicación de abonos orgánicos (Tesis de Licenciatura). UNAM, Ciudad de México.
- [132] Olsson, P., Folke, C., & Berkes, F. (2004). Adaptive Comanagement for Building Resilience in Social-Ecological Systems. *Environmental Management*, 34(1). <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0101-7>
- [133] O'Neill, R. V. (2001). Is it time to bury the ecosystem concept? (With full military honors of course!). *Ecology*, 82(12), 3275-3284. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2001\)082\[3275:IITBT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2001)082[3275:IITBT]2.0.CO;2)
- [134] Osman, K. T. (2014). *Soil Degradation, Conservation and Remediation* (1a ed.). Springer. Recuperado el 14 de abril de 2016, a partir de [10.1007/978-94-007-7590-9](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7590-9)
- [135] Ostrom, E. (2007). A diagnostic approach for going beyond panaceas. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(39), 15181-15187. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104>
- [136] Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems. *SCIENCE*, 325, 419-422. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>
- [137] Ostrom, E. (2010). Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. *American Economic Review*, 100(3), 641-672. <https://doi.org/10.1257/aer.100.3.641>
- [138] Ostrom, E. (2015). *Comprender la diversidad institucional*. (Moro Vallina M. Trad.) (1a ed.). México: FCE, UAM.
- [139] Pankhurst, C., Doube, B., & Gupta, V. (1997). *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International. Wallingford.
- [140] PAOT. (s/f). GeoServer: Previsualización de capas. Recuperado el 4 de julio de 2017, a partir de <http://www.paot.org.mx/micrositios/mapoteca/geovisor.php>
- [141] Pearce, D. W., & Atkinson, G. D. (1993). Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of "weak" sustainability. *Ecological Economics*, 8(2), 103-108. [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(93\)90039-9](https://doi.org/10.1016/0921-8009(93)90039-9)

- 
- [142] Pérez Espejo, R., Ávila-Foucat, S., & Ibarra, A. A. (2010). *Introducción a las economías de la naturaleza* (1a ed.). UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.
- [143] Pérez Mújica, L. H. (2012). *Análisis de usos del suelo en Xochimilco* (Tesis de Licenciatura). UNAM, Ciudad de México.
- [144] Pérez-Verdin, G., Sanjurjo-Rivera, E., Galicia, L., Henrnández-Díaz, J. C., Trejo, V. H., & Márquez-Linares, M. A. (2016). Economic valuation of ecosystem services in Mexico: Current status and trends. *Ecosystem Services*, 21, 6-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.003>
- [145] PNUD. (2016). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 2 de agosto de 2017, a partir de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>
- [146] Ponce de León Hill, C., Cram Heydrich, S., Fernández Lomelín, M. del P., Oropeza Orozco, O., Ortiz Pérez, M. A., Rosas Pérez, I., & Pérez, C. (2016). *Modelos conceptuales para el análisis del impacto de contaminantes* (1a ed.). México: Facultad de Ciencias. Recuperado el 3 de mayo de 2017, a partir de <https://tienda.fciencias.unam.mx/es/home/206-modelos-conceptuales-para-el-analisis-del-impacto-de-contaminantes-un-estudio-de-caso-xochimilco-9786070283826.html>
- [147] Potschin, M., & Haines-Young, R. (2011). Introduction to the Special Issue: Ecosystem Services. *Progress in Physical Geography*, 35(5), 571-574. <https://doi.org/10.1177/0309133311422976>
- [148] Ramos Bello, R, García Calderón, N.E., Ortega Escobar, H.M., & Krasilnikov, P. (2011). Artificial Chinampas Soils of Mexico City: their Properties and Salinization Hazards. *Spanish Journal of Soil Science*, 1(1). <https://doi.org/10.3232/sJss.2011.V1.N1.05>
- [149] RECARE project. (s/f). Recuperado el 21 de agosto de 2016, a partir de <http://www.recarehub.eu/recare-project>
- [150] Revollo-Fernández, D. A. (2015a). Does Money Fly? The Economic Value of Migratory Birdwatching in Xochimilco, Mexico. *Modern Economy*, 6, 643-663. <https://doi.org/10.4236/me.2015.66061>

- [151] Revollo-Fernández, D. A. (2015b). Economic Value and Historical Scenic Beauty: The Case of Chinampas (Raised Beds) in Xochimilco, UNESCO World Heritage Site, Mexico. *Natural Resources*, 6, 273-285. <https://doi.org/10.4236/nr.2015.64024>
- [152] Revollo-Fernández, D. A. (2015c). Is there willingness to buy and pay a surcharge for agroecological products? Case study of the production of vegetables in Xochimilco, Mexico. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 2265-2268. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7333>
- [153] Ribaudó, M. O., & Young, C. E. (1989). Estimating the water quality benefits from soil erosion control. *Journal of the American Water Resources Association*, 25(1), 71-78. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1989.tb05667.x>
- [154] Robinson, D. A., Hockley, N., Dominati, E., Lebron, I., Scow, K. M., Reynolds, B.,...Tuller, M. (2012). Natural Capital, Ecosystem Services, and Soil Change: Why Soil Science Must Embrace an Ecosystems Approach. *Vadose Zone Journal*, 11(1), Special Section. <https://doi.org/10.2136/vzj2011.0051>
- [155] Robinson, D. A., Hockley, N., Cooper, D. M., Emmet, B. A., Keith, A. M., Lebron, I.,...Robinson, J. S. (2013). Natural capital and ecosystem services, developing an appropriate soils framework as a basis for valuation. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 1023-1033. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.09.008>
- [156] Robinson, D. A., Panagos, P., Borrelli, P., Jones, A., Montanarella, L., Tye, A., & Obst, C. G. (2017). Soil natural capital in Europe; a framework for state and change assessment. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06819-3>
- [157] Robinson, D. A., Seaton, F., Sharps, K., Thomas, A., Roberts, F. P., Ploeg, M. van der,...Emmett, B. (2017). Soil Resources, the Delivery of Ecosystem Services and Value. *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*, 1-43. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.375>
- [158] Rodríguez, J., Beard, J., Bennett, E., Cumming, G., Cork, S., Agard, J.,...,Peterson, G. (2006). Trade-offs across Space, Time, and Ecosystem Services. *Ecology and Society*, 11(1). <https://doi.org/10.5751/ES-01667-110128>
- [159] Šarapatka, B., & Bednář, M. (2015). Assessment of Potential Soil Degradation on Agri-

- 
- cultural Land in the Czech Republic. *Journal of Environmental Quality*, 44, 154-161. <https://doi.org/10.2134/jeq2014.05.0233>
- [160] Schmidt, K., Sachse, R., & Walz, A. (2016). Current role of social benefits in ecosystem service assessments. *Landscape and Urban Planning*, 149(Supplement C), 49-64. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.01.005>
- [161] Schwilch, G., Bernet, L., Fleskens, L., Giannakis, E., Leventon, J., Marañón, T.,...,Verzandvoort, S. (2016). Operationalizing ecosystem services for the mitigation of soil threats: A proposed framework. *Ecological Indicators*, 67, 586-597. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.016>
- [162] Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2004). *The Ecosystem Approach, (CBD Guidelines)*. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Recuperado el 14 de agosto de 2017, a partir de <https://www.cbd.int/doc/publications/ea-text-en.pdf>
- [163] SECTURDF. (2015). El turismo en CDMX 2014- 2015. Delegación Xochimilco. Recuperado el 13 de marzo de 2017, a partir de <http://www.mexicocity.gob.mx/contenido.php?cat=40800&sub=1>
- [164] SEMARNAT. (s/f-b). NOMS en Materia de Suelos. Recuperado el 7 de agosto de 2016, a partir de [/leyes-y-normas/nom-suelos](#)
- [165] Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead: Priorities for ecosystem service studies. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 630-636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01952.x>
- [166] Sherrouse, B. C., Semmens, D. J., & Clement, J. M. (2014). An application of Social Values for Ecosystem Services (SolVES) to three national forests in Colorado and Wyoming. *Ecological Indicators*, 36, 68-79. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.008>
- [167] Siebe, C., Jahn, R., & Stahr, K. (2006). *Manual para la descripción y evaluación de suelos en el campo* (2a ed.).

- [168] Siebe, C., Cram, S., & Mora Palomino, L. (2017). Enhancing Awareness about the Importance of Urban Soils. En Lal, R. & Stewart, B. A. (Eds.), *Urban Soils* (pp. 351-374). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315154251-18>
- [169] Siwar, C., Chinade, A. A., Ismail, S. M., & Isahak, A. (2016). Economic valuation of soil carbon sequestration services in Malaysia's forest sector: a review of possible approaches. *Journal of Sustainability Science and Management*, 11(1), 14-28.
- [170] Snakin, V. V., Krechetov, P. P., Kuzovnikova, T. A., Alyabina, I. O., Gurov, A. F., y Stepichev, A. V. (1996). The system of assessment of soil degradation. *Soil Technology*, 8, 331-343. [https://doi.org/10.1016/0933-3630\(95\)00028-3](https://doi.org/10.1016/0933-3630(95)00028-3)
- [171] Sombroek, W. (2001). Evaluación de los recursos de la tierra y la función de sus indicadores. En *Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural* (1a ed., Vol. 5, pp. 9-17). Roma: FAO.
- [172] Star, S. L., & Griesemer, J. R. (1989). Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. *Social Studies of Science*, 19(3), 387-420. <https://doi.org/10.1177/030631289019003001>
- [173] Stavi, I., Bel, G., & Zaady, E. (2016). Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36:32, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0368-8>
- [174] Stromberger, M., Comerford, N., & Lindbo, D. (2015). *Soil Ecosystems Services*. Madison, WI: Soil Science Society of America, Inc. <https://doi.org/10.2136/2015.soilecosystemsservices.2014.0055>
- [175] Sutton, P. C., Anderson, S. J., Costanza, R., & Kubiszewski, I. (2016). The ecological economics of land degradation: Impacts on ecosystem service values. *Ecological Economics*, 129, 182-192. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.06.016>
- [176] Tan, J.-P., Anderson, J. R., Belli, P., Barnum, H. N., & Dixon, J. A. (2001). *Economic Analysis of Investment Operations: Analytical Tools and Practical Applications*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-4850-7>
- [177] *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)*. (s/f). Recuperado el 6 de octubre de 2016, a partir de <http://www.teebweb.org/>

- 
- [178] Thees, O., & Olschewski, R. (2017). Physical soil protection in forests - insights from production-, industrial- and institutional economics. *Forest Policy and Economics*, 80(Supplement C), 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2017.01.024>
- [179] Turner, R. K., van den Bergh, J., C. J. M., Söderqvist, T., Barendregt, A., van der Straaten, J., Maltby, E., & van Ierland, E. C. (2000). Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*, 35(1), 7-23. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00164-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00164-6)
- [180] Van Kooten, G. C. (1993). *Land Resource Economics and Sustainable Development*: UBC Press. Recuperado el 15 de agosto de 2016, a partir de <https://www.ubcpress.ca/land-resource-economics-and-sustainable-development>
- [181] Vieth, G. R., Gunatilake, H., & Cox, L. J. (2001). Economics of Soil Conservation: The Upper Mahaweli Watershed of Sir Lanka. *Journal of Agricultural Economics*, 52(1), 139-152. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2001.tb00914.x>
- [182] Wigle, J. (2010). The “Xochimilco model” for managing irregular settlements in conservation land in Mexico City. *Cities*, 27, 337-347. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2010.04.003>
- [183] World Bank Group; ECOFYS. (2016). *Carbon Pricing Watch 2016*. Recuperado el 10 de octubre de 2017, a partir de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24288>
- [184] Yigini, Y., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). European Contribution Towards a Global Assessment of Agricultural Soil Organic Carbon Stocks. En *Advances in Agronomy* (Vol. 142, pp. 385-410). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.012>
- [185] Zonneveld, I. S. (1995). *Land ecology: An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. (1a ed.). Amsterdam: SPB Academic Pub.

## ANEXO I

Avances preliminares en la construcción de indicadores para asignar y contabilizar el valor del suelo en la producción de biomasa a través de cultivos y sus derivados.

Como se mencionó el construir indicadores para estimar el valor del suelo tiene como objetivo capturar los flujos real en términos físicos y en términos monetarios. En la páginas que anteceden se estableció el por qué de la construcción de dichos indicadores, ahora es necesario presentar algunas definiciones basadas en La Notte *et al.*, [110], estas definiciones al ser adaptaciones pueden diferir de lo presentado como parte de la investigación, pero en este contexto se interpretan como avances preliminares para construir indicadores que permitan asignar y contabilizar el valor del suelo en la producción de biomasa cultivada y sus derivados.

<i>PRODUCCIÓN DE BIOMASA</i>	<i>CULTIVADA</i>
Definición	Es la contribución del suelo al crecimiento de cultivos que se pueden cosechar y utilizar para alimentos, forraje, fibra y energía (CICES V5)
Tipos de ecosistemas	Agroecosistemas, por lo general tierras de cultivo
Usuarios del servicio	Unidad económica
Beneficiarios	Productores de cultivos (perennes y no perennes) y hogares (consumo propio)
	Producción de cultivos (perennes y no perennes)
Definición conceptual de indicadores	
	Servicios ecosistémicos
Capacidad potencial (stock)	Potencial del suelo para producir cultivos. Unidad ton, ton/ha
Flujo potencial	Nivel de producción de cultivos al que se garantiza la productividad del suelo a largo plazo. Implica que las prácticas de producción (i.e. uso de fertilizantes, riego) no producen degradación del suelo. Unidad ton/ha/año
Uso	Flujo real de la biomasa cosechada. Unidad ton/ha/año
	Sistema socioeconómico
Demanda	Producción cosechada esperada o deseada. Unidad ton/ha/año
Demanda insatisfecha	Cuando el flujo real está por debajo de la producción cosechada esperada. Unidad ton/ha/año.
Beneficio	Producción de cultivos cosechados. Unidad ton/ha/año
Técnicas de valoración	Precio directo de mercado
	Función producción
	Costo de reemplazo

*Continuación*

Contribución potencial	Costos evitados
	<p>Hasta la fecha, no existe una metodología comúnmente acordada para mapear y evaluar la producción de biomasa como servicio ecosistémico asociado al suelo. Con frecuencia se usa el rendimiento expresado en diferentes unidades de medida (e.g. ton/ha, MJ/ha, DM/ha), este indicador no considera el hecho de que la producción de biomasa no sería abastecida por los ecosistemas sin una intervención humana sustancial que dependa en gran medida de la energía de los combustibles fósiles. Por lo tanto, para la evaluación de cultivos herbáceos, los insumos humanos deberían ser considerados. Un enfoque relativamente simple sería estimar la parte de la producción de cultivos atribuible al ecosistema basada en la revisión de la literatura. En este sentido, los estudios basados en la evaluación de los flujos de energía pueden constituir una referencia clave para este enfoque</p>

FUENTE: elaborada a partir de La Notte *et al.*, 2017 [110], y Haines-Young & Potschin [85]

Ahora, en el caso de los SE culturales, estos incluyen a las interacciones físicas y vivenciales con el entorno natural, específicamente el suelo [36]. Estos SE combinan elementos de conceptos sociales y ecológicos. Son los beneficios intangibles de la naturaleza relacionados con las percepciones, actitudes y creencias humanas. Las personas obtienen enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación y experiencias estéticas de los ecosistemas. Las percepciones de las personas pueden diferir significativamente no solo individualmente sino también de un área y cultura a otra.

Las actividades recreativas al aire libre, públicas incluyen una amplia variedad de prácticas. Siguiendo la plantilla general, para la cuenta de servicios ecosistémicos culturales, se podría pensar en caracterizar los principales elementos para cuantificar los servicios de recreación basados en i) la oferta potencial, i.e. la disponibilidad potencial de oportunidades; ii) flujo, i.e. proximidad de las oportunidades, y iii) el uso, i.e. la proporción de población que tiene acceso a las oportunidades.