

1. Importancia de la ciencia del suelo: interdisciplinaridad, aplicaciones múltiples y necesidad de la seguridad del suelo para contribuir al desarrollo sostenible

Cristopher Edgar Camargo Roa¹

Carlos Eduardo Pacheco Angulo²

Roberto López Falcón³

Resumen

El presente artículo constituye una revisión teórica que tiene por objeto conocer la importancia y el desarrollo de la ciencia del suelo, sus enfoques, aciertos, desaciertos, interacciones con otros campos de la ciencia y los avances conceptuales y tecnológicos alcanzados. Con ese propósito, se constituye una serie de interrogantes con los que se pretende establecer un marco general, que sirva para reseñar la evolución histórica del conocimiento del suelo, los principios que han hecho parte de dicho proceso, su relación con otras ciencias y su contribución con el logro del desarrollo sostenible. A partir de ello, se evidencia el vital valor que posee el recurso *suelo* para la humanidad a través de sus diversas funciones ecosistémicas, conclusión que ha sido resultado del

1 M. Sc. en Manejo de Cuencas Hidrográficas. Profesor en la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales (FCFA), Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. Correo: ccamargoroa@gmail.com.

2 Dr. en Tecnología de la Información Geográfica, Universidad de Alcalá (UAH), Alcalá de Henares, España. Profesor en la Escuela Técnica Superior Forestal (ETSUFOR), Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. Correo: pachecocar@gmail.com.

3 Ph. D. en Agronomía - Ciencia del Suelo, Universidad de Georgia (UGA), Athens, EE. UU. Profesor en el Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. Correo: rlopezfalcon@gmail.com.

desarrollo de la ciencia del suelo a lo largo del tiempo por parte de diversos científicos y sus enfoques, que han generado numerosos cambios en la construcción teórica y metodológica de la ciencia y que apuntan a continuar cambiando, por su gran dinamismo. De igual modo, se destaca la imperiosa necesidad de organizar y clasificar la información generada para efectos de un amplio y creciente aprovechamiento y utilidad, en diferentes categorías de estudios: exploratorios, generales, semidetallados y detallados. Se denota también la importancia de la ciencia del suelo en otras ciencias, donde sus aportes son clave para comprender los fenómenos acaecidos que afectan el paisaje y el ambiente en general, tanto en el sentido teórico como práctico, los cuales deben contribuir a los Objetivos del Desarrollo Sostenible y afianzar la seguridad del suelo. Finalmente, se insta a la inclusión de otras disciplinas como la geoestadística y demás avances tecnológicos a fin de mejorar la precisión de los estudios de suelos, en aras, entre otros fines, de fomentar mayores rendimientos agrícolas asociados a manejos adecuados y a la conservación del recurso.

Palabras clave: ciencia del suelo, desarrollo sostenible, seguridad del suelo, conservación del suelo.

Importance of Soil Science: interdisciplinarity, multiple applications and the need for soil security to contribute to sustainable development

Abstract

This article is a theoretical review that aims to know the importance and development of Soil Science, its approaches, successes, failures, interactions with other fields of science conceptual advances and technological achievements. Through a series of questions, it is intended to establish a general framework, to follow the historical evolution of soil knowledge, the principles of science that have been part of it, its relationship with other sciences and its contribution with the achievement of sustainable development. The soil resource has a vital value for humanity through its various ecosystem functions, a conclusion that has been the result of Soil Science development over time by various scientists and their approaches, which have generated numerous changes in the theoretical and methodological construction of the science and that aims to continue

changing, due to its great dynamism. Equally, it stands out the imperative need to organize and classify information, generated for the purposes of its wide use and utility, in exploratory, general, semi-detailed and detailed, study categories. It also denotes the importance of Soil Science in other sciences, where its contributions are key to understand the phenomena that occur in the landscape and the environment in general, both in the theoretical and practical sense, which should contribute to the Objectives of the Sustainable Development and strengthen soil security in the coming years. Finally, highlight the inclusion of other disciplines such as geostatistics and other technological advances to improve the accuracy of soil studies, among other purposes, to promote higher agricultural yields associated with proper soil management and conservation.

Key words: Soil science, sustainable development, soil security, soil conservation.

Importância da Ciência do Solo: interdisciplinaridade, múltiplas aplicações e necessidade de segurança do solo para contribuir para o desenvolvimento sustentável

Resumo

Este artigo é uma revisão teórica que visa compreender a importância e o desenvolvimento da ciência do solo, as suas abordagens, sucessos, fracassos, interações com outros campos da ciência e os avanços conceituais e tecnológicos alcançados. Com este objetivo, surge uma série de questões que delineiam um quadro geral que serve para nortear a evolução histórica do conhecimento do solo, os princípios que têm feito parte deste processo, a sua relação com outras ciências e a sua contribuição para a realização do Desenvolvimento Sustentável. Este é o resultado do desenvolvimento da ciência do solo ao longo do tempo por diferentes cientistas e suas abordagens, que geraram numerosas mudanças na construção teórica e metodológica da ciência e que visa continuar a mudar, devido o seu grande dinamismo. Do mesmo modo, é também realçada a necessidade imperativa de organizar e classificar a informação gerada para efeitos de uma utilização e utilidade ampla e crescente, em diferentes categorias de estudos: exploratórios, gerais, semi-detalhados e detalhados. A importância da Ciência do Solo noutras ciências é também notada, onde as suas contribuições são fundamentais para a compreensão dos fenômenos manifestações que afetam a paisagem e o ambiente em geral, tanto no sentido teórico como prático, o que

deverá contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e reforçar a segurança do solo. Finalmente, a inclusão de outras disciplinas tais como a geoestatística e outros avanços tecnológicos é exortada a fim de melhorar a precisão dos levantamentos do solo, e de promover rendimentos agrícolas mais elevados associados a uma gestão e conservação adequadas do recurso, entre outros objetivos.

Palavras-chave: ciência do solo, desenvolvimento sustentável, segurança do solo, conservação do solo.

Introducción

El conocimiento del suelo, de acuerdo con Casanova (2005) y De La Rosa (2008), se ha desarrollado estrechamente vinculado con la historia de su utilización, principalmente con un enfoque edafológico, para cultivar plantas y hacer agricultura. No obstante, también ha resultado importante para otros fines no agrícolas, tales como la ingeniería, construcción, ordenación del territorio y la tasación, entre muchos otros.

También es importante destacar que la ciencia del suelo, en los últimos años, ha pasado de ser una disciplina muy enfocada en el estudio de la caracterización y de los mecanismos fundamentales de los sistemas del suelo, en los aspectos de mineralogía, física, química, biología e hidrología, entre otros, para involucrarse también en el confrontamiento de los cambios ambientales contemporáneos y sus consecuencias, como señalan Hartemink y McBratney (2008).

Por ello, se destaca la importancia de un claro entendimiento de la información básica generada por los especialistas de la ciencia del suelo, de la adquisición de datos, de su análisis e interpretación y de las múltiples aplicaciones factibles, así como también de la manifestación de las dificultades y limitaciones pertinentes a la interacción interdisciplinaria. El suelo, como recurso multifuncional, debe conocerse para utilizarlo adecuadamente, lo cual implica conservarlo para asegurar su sostenibilidad y seguridad como soporte de diversidad de funciones esenciales ecosistémicas.

En aras de complementar el alcance de estos planteamientos introductorios, se presentan y desarrollan una serie de cuestionamientos cuya discusión podrá ser de interés para los usuarios de la información de suelos, muy particularmente

para los no especialistas, tal como sigue: ¿cuál es la importancia de los estudios de suelo?, ¿cómo ha sido el desarrollo de la ciencia del suelo?, ¿por qué la necesidad de organizar la información existente de suelos?, ¿por qué los periódicos cambios en métodos y nomenclaturas que presenta la información del suelo a través del tiempo?, ¿cómo se representan los diversos tipos de suelos y sus procesos? y ¿cómo se plantea la contribución de la ciencia del suelo para el logro del desarrollo sostenible en los años por venir?

Con estas interrogantes, se pretende mostrar un breve marco donde quede evidenciada la evolución histórica del conocimiento del suelo, los principios de la ciencia que han hecho parte de ella, los problemas encontrados y los logros y avances metodológicos alcanzados, para culminar con un esbozo sobre la *complementariedad con otras ciencias* que ha tenido a lo largo del tiempo y que le han valido significativos aportes en su desarrollo, y, por otra parte, mostrar sus potencialidades para contribuir con el logro del desarrollo sostenible en los años por venir. Ello desde un enfoque que busca despertar el interés de los profesionales y usuarios no especialistas en la ciencia del suelo. Es así como la información se presenta de un modo fácilmente aprehensible, sin la necesidad de ser extremadamente exhaustiva, evitando así caer en un debate epistemológico sobre cómo se formó y se forma dicho conocimiento.

1. ¿Por qué es importante estudiar el suelo?

Esta respuesta radica en que es un recurso *fundamental* para los seres humanos y para toda la vida terrestre como el agua y el aire, no hay reemplazo de este, pues es un recurso vital para el desarrollo de plantas, la obtención de combustibles y fibras, para la cría de ganado, para el anclaje de bases para viviendas y otras edificaciones e incluso para la construcción de campos deportivos o el enterramiento de desechos sólidos (Singer & Munns, 1992; Casanova, 2005; Plaster, 2005; Chaudhary & Kumar, 2018) y de reconocida importancia en el confrontamiento de los cambios ambientales contemporáneos (Hartemink & McBratney, 2008).

Las funciones del suelo son de vital importancia y deben ser protegidas para el bienestar general de las actuales y futuras generaciones (European Commission, 2006; Panagos & Montarella, 2018; Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2019). Se pueden precisar las funciones principales del suelo, tal como sigue:

- Producción de biomasa, incluyendo agricultura y silvicultura.
- Almacén, filtro, amortiguador y transformador de nutrientes y sustancias en la solución del suelo.
- Regulación de la infiltración, almacenamiento y flujo del agua dentro del suelo.
- Almacén de biodiversidad, variedad de hábitats, especies y genes.
- Ambiente físico y cultural para los seres humanos y sus actividades.
- Fuente de materias primas.
- Almacén de carbono. Regulación de emisiones de CO₂, N₂O y CH₄.
- Archivo de patrimonio geológico y arqueológico.

Pero el recurso *suelo* se extiende mucho más allá de estas consideraciones ecosistémicas o agronómicas e incluye innumerables variables que provienen de la orilla de la cultura, como ser un factor esencial de las luchas del poder político, elemento indispensable en la generación de relaciones sociales y económicas y el eco de acciones tecnológicas enfocadas al uso de los recursos naturales (Sicard, 2004).

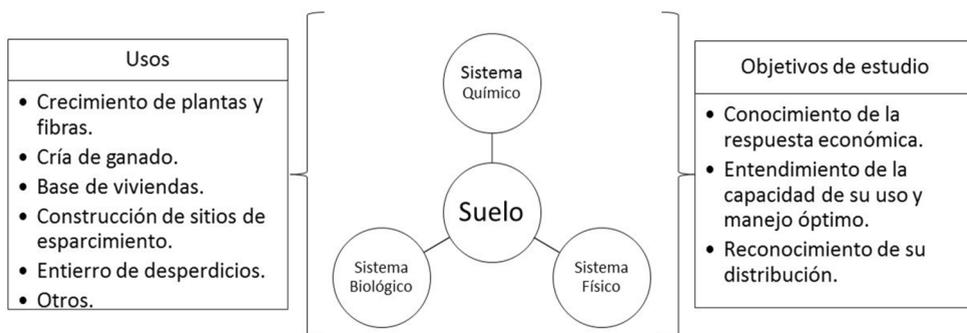
Se evidencia, entonces, el gran interés de explotación que tienen los suelos y por tanto la necesidad de reconocerlos como sistemas físicos, químicos y biológicos altamente organizados; destaca, además, la importancia de conocer sus propiedades, su rol en el ambiente y la necesidad de su adecuado manejo (Fitzpatrick, 2011). De aquí la relevancia para que dicho componente de la naturaleza haya sido y sea abordado por el saber humano como *ciencia*, es decir, un conjunto de conocimientos obtenidos mediante observación y razonamiento, sistemáticamente estructurados, de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente (Real Academia Española [RAE], 2014, definición 1), condición *sine qua non* para conformar la ciencia del suelo.

A manera de ejemplo de un modo concreto, en América Latina el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) de Colombia ha puntualizado los objetivos por los cuales se realizan estudios del suelo: 1) conocer la respuesta económica de las tierras al ser regadas o drenadas mediante diferentes sistemas, de modo que garanticen la generación de ingresos y la sustentabilidad del recurso, 2) entender la capacidad de uso y manejo óptimo de las tierras de un territorio y 3) reconocer la distribución de los suelos y tierras con la finalidad de establecer aplicaciones prácticas (IGAC, 2014).

Las ideas anteriormente esbozadas se pueden apreciar esquemáticamente en la Figura 1, en la cual se observa que tanto usos como objetivos de estudio parten de una base común: el suelo como un cuerpo complejo, compuesto por un sistema químico, físico y biológico, cuya correcta comprensión propende a su máxima productividad y sostenibilidad. Sobre estos preceptos, destaca Burbano (2002), descansa la ciencia del suelo como disciplina científica.

Tal como señala Blum (2005), la importancia de los suelos destaca a través de su condición de nexo esencial entre las diferentes esferas del ambiente terrestre facilitando un diverso arreglo de importantes funciones, previamente citadas, en la producción de alimentos, purificación del agua, secuestro de carbono, salvaguarda de la energía, apoyo de la infraestructura crítica, provisión de superficie para el desarrollo y suministro de materias primas.

Figura 1. El suelo como sistema, sus usos frecuentes y sus objetivos de estudio



Fuente: elaboración propia.

2. ¿Cómo se ha desarrollado la ciencia del suelo?

La ciencia enseña lo que es correcto a partir del establecimiento de hipótesis, la experimentación de alternativas y el análisis de procesos, cuyos propósitos son la verificación de lo que realmente está sucediendo y la demostración de sus causas y efectos (Stocking & Murnaghan, 2003). Con respecto al suelo, aunado a las anteriores premisas, la aplicación de la ciencia ha versado también en la interpretación de la información de los estudios para la planificación de su uso, los cuales requieren el descubrimiento de aquellas propiedades que son críticas para un uso, en particular, y que sería de difícil modificación económica (Singer & Munns, 1992) si hubiera un interés en especial para hacerlo.

Haciendo alusión a los procesos, causas y efectos que suceden en el ambiente físico a partir de los métodos que exige la ciencia, Kirkby y Morgan (1980) han

afirmado que estos se han obtenido a partir del desarrollo de estudios descriptivos y experimentales por igual. Como ejemplo de los primeros, tenemos el análisis de las distribuciones geográficas y la construcción de taxonomías biológicas, así como también la elucidación de la columna estratigráfica, y en el caso de los segundos está el estudio de todos los procesos en todas sus escalas; en el caso de los suelos, como muestra evidente, están las distribuciones geográficas de sus procesos inherentes a escala global, regional y local.

El proceso de indagación de un fenómeno o elemento del ambiente físico inicia con una suposición que conduce a deducir algo acerca del objeto de interés. En el caso de los estudios de suelo, el objeto es el propio suelo y este en el paisaje (Brown, 1998), el cual puede estudiarse en forma independiente o como parte del ambiente (Fitzpatrick, 2011). Esta capacidad dual de poder realizar la investigación permite que, en el caso de procesos como los de la erosión (por mencionar alguno), puedan realizarse tanto a escala microscópica como de paisaje (Imeson & Curfs, 2008).

Es importante agregar que solo yendo al objeto o elemento del ambiente físico, en este caso, el suelo, y recolectando información empírica a través de la observación directa se puede verificar una suposición inicial realizada o descartarla y considerar otras probablemente mejores (Brown, 1998). Las observaciones directas se realizan en el paisaje, ya que el suelo está relacionado y es insoluble de él, pues este influye en la cantidad de agua que penetra hasta el material parental, la longitud y grado de la pendiente que presenta la superficie terrestre, afecta el balance entre la formación de suelos y la erosión que lo destruye y, finalmente, la estabilidad de su superficie, que pueden determinar su existencia en el tiempo (Singer & Munns, 1992).

Se hace notable, por consiguiente, la necesidad de estudiar las leyes de las distribuciones geográficas, pues ocupan una posición muy importante en la geografía de los suelos, dado a que su desarrollo está en armonía con el espacio y el tiempo. El desentendimiento de esta relación impediría la comprensión de sus procesos formadores o genéticos (Durán et al., 1989). Es establecer, por tanto, la premisa de que los suelos no son cuerpos invariables, sino que, por el contrario, están en continua formación y cambio, constituyendo un continuum de espacio-tiempo (Fitzpatrick, 2011).

Al tener observaciones en un punto o varios en el paisaje, el proceso de estudio ha consistido y consiste en continuar con la utilización del razonamiento

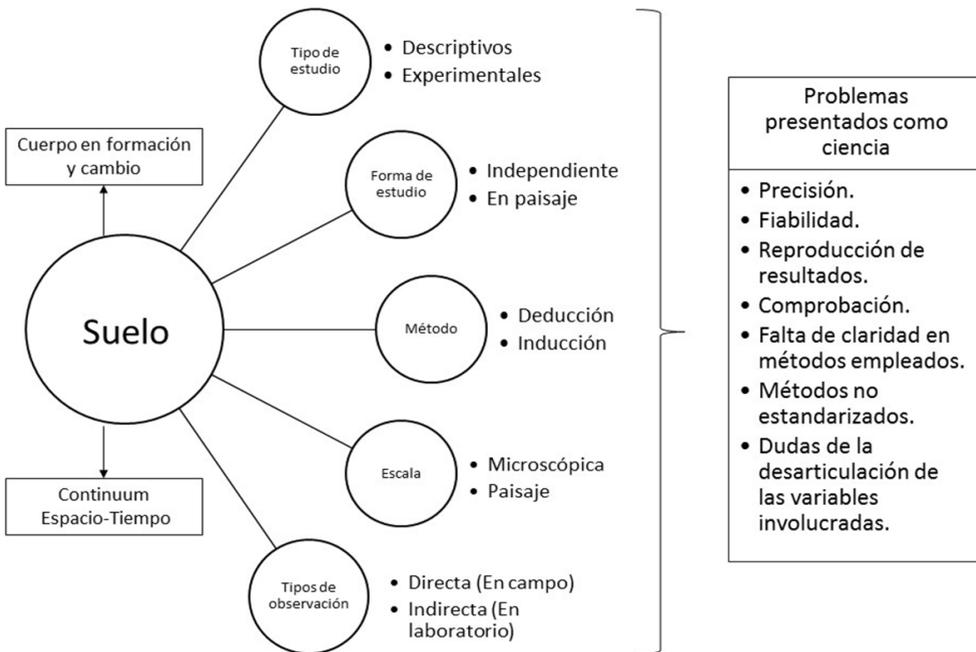
inductivo para crear una hipótesis, luego retornar al paisaje para hacer mediciones y así verificarla o rechazarla; con esta mejor comprensión, se usa de nuevo el razonamiento inductivo para hacer generalizaciones. Este proceso puede dar lugar a modelos de simulación que verdaderamente representen la naturaleza y el comportamiento de los suelos, pero esto solo puede suceder si se hace un continuo regreso al modelo suelo-paisaje para su verificación final (Brown, 1998).

Aunado a este proceso de deducción-inducción, resulta apremiante subrayar que los estudios de suelos, a lo largo de su desarrollo como ciencia, han presentado muchos problemas relacionados con la precisión y la fiabilidad para representar y verificar la verdadera naturaleza y los procesos que ocurren en él. Stocking y Murnaghan (2003) han señalado que, en el caso de la precisión, es poco probable que cualquier medición realizada en campo sea tan precisa en comparación con una desarrollada en un laboratorio. Muestra de ello sería el empleo de una regla marcada en milímetros para medir el efecto de un proceso que sea significativo a un nivel de orden menor al milímetro (ejemplo: 0,1 mm), lo que conduce inevitablemente a imprecisiones; añaden los citados autores que también es imprecisión que los resultados obtenidos en un lugar son difíciles de reproducir en otro. En cuanto a la fiabilidad, han indicado que muchos medios para controlarla no están normalmente disponibles para el investigador, situación que ha conllevado la búsqueda de indicadores y métodos que permitan realizar las comprobaciones indirectamente.

Otra serie de problemas se han presentado a la hora de exhibir los resultados de los estudios de suelos. Kirkby y Morgan (1980) han señalado que la evaluación de los resultados comunicados en la literatura existente hasta entonces habían planteado problemas de grado tal que los mismos investigadores, muy a menudo, no los habían expuesto con claridad. Ello debido a que, con excepción de los métodos geotécnicos, los estudios de suelos se encontraban en una etapa muy experimental e incluso podría llegar a asomar la idea de afirmar que cada laboratorio había desarrollado sus propias técnicas, las cuales evolucionaron sin una tendencia a un proceso de estandarización. Esto puede resultar también entendible debido a las diferentes ciencias que han abordado los estudios de suelo, pues, sobre este componente, la geología (principalmente la mineralogía de suelos), la biología (especialmente la microbiología de suelos), la química y la física se han abocado y, a su vez, combinado (Singer & Munns, 1992).

En cuanto al desarrollo de los estudios de los aspectos químicos iniciados entre los años 1700 y 1800, que constituyó una verdadera tradición académica que duró hasta comienzos del siglo XX, simultáneamente la geología fue desarrollándose y fue realmente la primera ciencia en realizar métodos de campo aplicados a los suelos. A mediados del siglo XIX, algunos geólogos iniciaron estudios geográficos de suelos y su relación con las condiciones agrícolas. Quizás estas fueron las primeras observaciones del suelo como un material de roca erosionada y no como un cuerpo organizado e independiente (Smith, 1998).

Figura 2. Abordaje del objeto de estudio de la ciencia del suelo, sus implicaciones y problemas presentados



Fuente: elaboración propia.

Otro problema ha ocurrido con los resultados derivados de las mediciones de campo que tienden a integrar una amplia variedad de procesos. En el caso de la degradación de suelos, por ejemplo, concepto muy amplio, además, que incluye no solo los atributos del medio físico, sino también la forma en que se maneja y cómo la naturaleza reacciona al uso por el hombre, la integración de las variables resulta esencial si el investigador tiene que presentar resultados de un conjunto de procesos a los que el agricultor se enfrenta en la realidad. Como consecuencia, de acuerdo con Stocking y Murnaghan (2003), el método científico de "desarticular" los procesos naturales hasta llegar a sus elementos

singulares para su estudio y después realizar su posterior ensamblaje para que vuelvan a alcanzar la realidad compleja original tiene una dudosa validez en los sistemas ecológicos, donde lo que más influye son las interacciones constantes entre sus partes. Un resumen esquemático de los planteamientos señalados se pueden observar en la Figura 2.

3. ¿Por qué los periódicos cambios en nomenclaturas y métodos que afecta la información del suelo a través del tiempo?

Los problemas para entender el suelo se hacen también evidentes, por ejemplo, si se abordan procesos de degradación como la erosión. Al respecto, Kirkby y Morgan (1980) han señalado que las distribuciones de la erosión a lo largo del año y alrededor del mundo solo pueden explicarse parcialmente, por tanto, es válido considerar que la mecánica de la erosión no se ha entendido perfectamente, ya que existe un margen considerable para su reevaluación.

Tal afirmación, podría decirse, ha mantenido vigencia hasta nuestros días si se revisan los continuos y diversos trabajos en el abordaje de los variados estudios de suelos (incluidos los procesos de erosión) y no solo obedece a un proceso de revisión y reflexión realizado en las últimas décadas, sino que, por el contrario, los antecede. Así quedó demostrado con la respuesta dada a la interrogante: *¿cuándo los estudios de suelos terminarán de cambiar sus métodos y nomenclaturas?*, planteada por Charles Kellogg en la Convención de Green Lake, Wisconsin, en 1955, sobre el estado de los estudios de suelos en Estados Unidos y el mundo, a lo que expresó fehacientemente: *“cuando terminemos de aprender acerca de los suelos”* (Mausbach, 1998). Dicha reflexión es prueba inequívoca de la complejidad de los procesos de razonamiento de lo que sucede con este componente.

Ahora bien, si se incluye el abordaje de los procesos de erosión en el pasado (edad antigua y sucesivas), resulta aún más difícil su comprensión, evidentemente, por la falta de registros que los demuestren claramente. Esta situación ha tratado de ser solventada a partir del enfoque geomorfológico relacionado con yacimientos arqueológicos que han presentado cambios drásticos en el paisaje y que constituyen en sí mismos registros sedimentarios al utilizar los restos arqueológicos para ser datados. De tal forma, ayudan a la reconstrucción paleogeográfica de los ambientes (Carmona, 2003; Giménez, 2009).

Otro enfoque lo ha constituido el establecimiento de tasas aproximadas de retrocesos de vertientes a partir de sedimentos, como en el caso del estudio sobre los sedimentos depositados en los últimos cinco milenios en el interior de la cavidad la cova de l'Or (Fumanal & Calvo, 1981) o la determinación de notables rasgos de erosión en la isla de Malta 3000 años a. de C. (Vidal, 2003).

Retomando el tema de la alternancia entre la deducción e inducción y última verificación (planteada en la anterior pregunta), vale reafirmar que estos procesos son los que conducen al avance del conocimiento de la ciencia (Brown, 1998), la cual depende de un conjunto de reglas lógico-racionales sistematizadas que se aplican tanto al pensamiento como al lenguaje científico (Ávila Baray, 2006).

En efecto, dado que hace falta mucho por saber acerca de los paisajes en los diversos contextos, se puede aseverar que nunca se podrá saber todo acerca del suelo (Brown, 1998). Esto resulta comprensible debido al hecho de que investigar no es una tarea sencilla (de lo contrario, estaría "todo investigado"), proceso que también resulta difícil porque la formulación de las interrogantes, de los métodos y de los mismos resultados no llegan a ser, de buenas a primeras, explícitos (Goldman, 2013).

Por otro lado, también existe un alto riesgo de que algunas partes significativas de la ciencia que se hace se encuentren en sí mismas cada vez más alejadas del objeto de interés original, como puede ocurrir con el desarrollo de modelos que pueden terminar siendo probados en contra de grupos de datos reunidos para algún otro propósito o probados en contra de elementos progresivamente más pequeños del paisaje, lo que reduce así su área de aplicación (Brown, 1998).

4. ¿Por qué es necesario organizar y clasificar la información?

Después de haber realizado una resumida exploración por los diversos procesos de investigación, la información obtenida por medio de estos exige ser organizada; pero *¿por qué organizarla?* La solución radica en que es ordenada para que sea comprensible y útil. Señalan Singer y Munns (1992) que los suelos se organizan para recordar sus nombres y propiedades importantes y porque es ineficiente, además, tener que considerar cada suelo para encontrar información acerca de un tipo particular (solo en los Estados Unidos hay más de 15.000 tipos individuales de suelo y muchos más en todo el mundo), con lo

cual se minimizan los problemas de localización de información sobre cualquier tipo en un momento dado.

Así surgieron los trabajos y clasificaciones como: 1) la del científico ruso V. V. Dokuchaev a finales del siglo XIX (Plaster, 2005), a raíz de su preocupación por un período de sequías sufridas en Rusia entre 1873 y 1875, que le sirvió para presentar su investigación sobre los procesos de formación de los valles de Rusia en 1878 y que le ha valido para ser considerado como el padre de los estudios de suelo y motor para el desarrollo de estos en el resto de Europa y el mundo; 2) la del investigador estadounidense C. F. Marbut a finales de la década de los veinte e inicios de los treinta del siglo XX, considerado como el padre de la ciencia del suelo en su país, quien generó el primer sistema norteamericano conocido posteriormente como "taxonomía de suelos", modificado luego por sus sucesores: Kellog, Baldwin y Thorp (Singer & Munns, 1992; Peña-Venegas et al., 2010); 3) la de Guy Smith, comenzada en la década de los cincuenta y culminada en 1975 (Masbach, 1998); 4) la de P. C. Stobbe, presentada en la reunión del Comité Nacional de Estudios de Suelos de Canadá (NSSC, por su sigla en inglés) en 1955, revisada constantemente hasta ser publicada en su primera edición en 1978 (Soil Classification Working Group, 1998); 5) la clasificación definida en el mapa mundial de suelos de la FAO-Unesco o 6) la de Fitzpatrick, presentada en 1980 (Fitzpatrick, 2011). Otras clasificaciones desarrolladas se encuentran mencionadas en Casanova (2005) y Jaramillo (2014).

5. ¿Cómo se representan los diversos tipos de suelo y sus procesos?

Aunado al proceso de organización, también se encuentra el de la representación de la distribución de los suelos y/o de sus procesos en el paisaje, es decir, los mapas de información geográfica, los cuales fueron iniciados por Dokuchaev en su obra *Chernozän Rugo* en 1883 (considerado símbolo de la pedología, en donde se reconoció por primera vez a los suelos como "cuerpos naturales" y definidos como un recurso natural). Este investigador ruso basó la confección de estos en los principios cartográficos: investigación de campo, determinación de unidades de suelo, composición de leyendas para la clasificación genética, características de productividad y la valoración de los suelos sobre la base de índices históricos, económicos y naturales (Durán et al., 1989; Febles & Vega, 2009; Peña-Venegas et al., 2010).

Es menester no olvidar que Dokuchaev demostró que los suelos no se distribuyen al azar, sino que, por el contrario, desarrollan un patrón sobre el terreno. Además, estableció los cinco factores que dan origen al suelo: material original o parental, clima, organismos, topografía y tiempo (Fitzpatrick, 2011), lo que le permitió denominar a los suelos como “espejos del paisaje” por la manera integral de reflejar las propiedades de todo el complejo natural existente en un área dada (Pebles & Miranda, 1989).

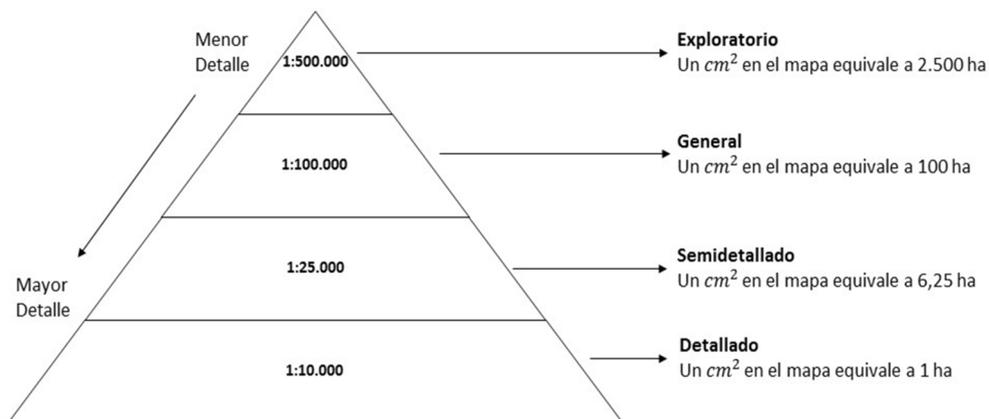
Se han representado, desde entonces, el uso reciente de la tierra y los usos potenciales o idóneos, así como los mapas de unidades de suelos que describen los pedones y cómo ellos existen en el paisaje (Singer & Munns, 1992). También ha surgido la cartografía histórica, que ha aportado valiosa información paleogeográfica sobre la dinámica de los procesos de erosión, entre muchos otros aspectos relacionados con el relieve en el pasado (Carmona, 2003). Así mismo, también están los mapas geomorfológicos que, a diferencia del anterior enfoque, proporcionan una imagen más precisa y sistemática de las formas y procesos de la superficie terrestre de manera más científica (Carmona & Ruiz, 1996) y que pueden brindar, además, aportes valiosos en el entendimiento de la distribución de los suelos y de los procesos que ocurren en ellos.

En cuanto a los mapas de erosión propiamente dichos, se han configurado varios tipos. El primero muestra la ubicación de las diferentes formas de erosión (como cárcavas, surcos y microsuros), que pueden reflejar hasta cierta medida la tasa actual de los procesos. El segundo toma en cuenta las tasas del pasado de la erosión por medio de cambios en el perfil del suelo según observaciones de campo. El tercero ilustra los riesgos de erosión y el cuarto se basa en la producción de sedimentos (transportados por los cauces) (Larsson & Strömquist, 1995).

Con la representación cartográfica ha surgido otro problema de forma inherente: el nivel de detalle que debe poseer el estudio de suelo que desea ser representado, incógnita que se plantea también en el interés de desarrollar el propio objetivo del estudio. Dicha interrogante conlleva precisar dicho objetivo en primera instancia. El IGAC (2014), para ello, ha definido cuatro categorías a fin de solventarla de forma metódica: la primera de ellas, con la definición de *los estudios exploratorios*, que se realizan a fin de tener un conocimiento muy general del patrón y distribución; *los estudios generales*, que se ejecutan con el fin de reconocer áreas con potencial agropecuario que ameriten un mayor nivel de detalle; *los semidetallados*, que se implementan a nivel municipal para el proceso de planificación y ordenamiento del territorio, y *los detallados*, los cuales

son fundamentales en la planificación de la agricultura intensiva, avalúos catastrales a nivel de finca y el desarrollo de proyectos de irrigación (Figura 3).

Figura 3. Nivel de detalle para cada uno de los estudios de suelos



Fuente: elaboración propia con base en IGAC (2014).

Cualitativamente se pueden establecer algunas características de los levantamientos de suelos mencionados, como se muestra en la Tabla 1, información que puede deducir algunas limitaciones que presentan tanto desde el punto de vista de la ejecución como del de su utilización (Jaramillo, 2014). A modo de ilustración, está la aplicación de modelos paramétricos como los que estiman la pérdida de suelos a nivel de cuencas que ameritan información detallada de las propiedades físico-químicas, los cuales, por la inexistencia de datos en muchos casos, suelen desarrollarse a escala semidetallada o general, donde el muestreo suele ser mucho menor, lo que induce a generalizaciones de los resultados. Ejemplo de ello es el estudio de la distribución espacial de la degradación del suelo por erosión hídrica desarrollado por Quiñonez y Dal Pozzo (2008).

Tabla 1. Algunas cualidades de diferentes tipos de levantamientos de suelos

Tipo de levantamiento	Intensidad del trabajo de campo	Conocimiento del suelo	Accesibilidad	Homogeneidad de unidades cartográficas	Aplicabilidad
Detallado	Muy alta	Muy alto	Alta	Muy alta	Local a casi puntual
Semidetallado	Alta	Alto	Media a alta	Alta	Local a regional
General	Baja	Medio a bajo	Baja	Baja	Regional
Exploratorio	Muy baja	Bajo a muy bajo	Baja a muy baja	Muy baja	Regional muy amplia

Fuente: Jaramillo (2014).

6. Complementariedad con otras ciencias

Comprender la relación causa-efecto entre los cambios en los usos del suelo, la intensidad en su aprovechamiento, los cambios climáticos y la capacidad de respuesta de los ecosistemas, todos objetos de estudio en sí, ha conducido a su abordaje y complementariedad con otras ciencias como las sociales, a partir de sus ciertas habilidades de comprensión ecológica, con las ciencias de la tierra, que, en ocasiones, obvian aspectos básicos del comportamiento humano y de los procesos históricos esenciales para la comprensión del paisaje y la degradación o sustentabilidad a una escala amplia. Ello ha permitido incorporar distintos resultados en un enfoque explicativo común (Giménez, 2009).

Se puede afirmar, entonces, que la ciencia del suelo está constituida por múltiples disciplinas que le ayudan a entender los aspectos fundamentales de su dinámica, constitución y funcionamiento y que generan conocimientos básicos para su interpretación y aplicaciones (IGAC, 2014).

A manera de ejemplo, está la aplicación para el estudio de los procesos de erosión que incluye la complementariedad de disciplinas. Así, tenemos el de los investigadores agrícolas, quienes se han centrado en la pérdida de suelo de las tierras de cultivo y en cómo evitarla usando prácticas de conservación. Otro caso es el de los investigadores del campo de las ciencias de la tierra en su interés por comprender la naturaleza misma de los procesos aunados a su relación con los cambios en el paisaje, y el de los geocólogos que han estudiado las relaciones y reacciones que existen entre la vegetación y los procesos hidrológicos y cómo estos varían en el tiempo (Imeson & Curfs, 2008).

Tomando en cuenta las indagaciones realizadas por Vega y Febles (2005) en la evaluación de la erosión, se reconocen métodos basados en la cartografía de las formas, la evaluación y cartografía temática de los factores que influyen, las observaciones directas de campo, la aplicación de isótopos radioactivos y la modelación, donde destaca la importancia de los sistemas de información geográfica (SIG) en el desarrollo de algunos de ellos; estos métodos han sido clasificados a su vez en cualitativo y cuantitativo. En el primero de los casos, la evaluación del riesgo de erosión se efectúa mediante la utilización de una cartografía temática de los factores que la controlan o mediante el estudio de las formas de erosión y, en el segundo, por la estimación de las pérdidas de suelo por erosión mediante evaluaciones directas a partir de la ubicación de varillas en el terreno, levantamientos topográficos, análisis de cargas sólidas por arrastre

del agua en ladera o cuencas y a través de simuladores de lluvia, entre otros, o mediante evaluaciones indirectas basadas en modelos matemáticos apoyados en bases estadísticas, empíricas o de leyes físicas.

En ampliación a los métodos previamente mencionados, y que no solo coadyuvan al estudio de los procesos de erosión, los productos de sensores remotos como imágenes satelitales y fotografías aéreas digitales han permitido revolucionar la cartografía de los suelos gracias a la utilización de los SIG, que han concedido la posibilidad de combinar capas de información de diversa índole que al superponerlas han facilitado la identificación de los suelos presentes en un área en particular o de sus procesos (IGAC, 2014).

A este panorama se le debe agregar que los nuevos avances en el campo de la teledetección, en especial a partir de los satélites por su paso frecuente, aparte de proporcionar una visión sinóptica de grandes áreas (De la Rosa, 2008), insta a pensar que en un futuro no muy lejano se podrá vigilar la aparición de la erosión con una mayor resolución que la existente (Imeson & Curfs, 2008), fomentando así una mayor comprensión de este fenómeno. Esto será posible gracias a que los datos censados remotamente sobre un área pueden aportar estimaciones de las características naturales y antropogénicas del momento de su adquisición (King & Clark, 2000). Por otra parte, la teledetección, si es asociada a los modelos digitales de terreno (MDT), podría significar una extraordinaria ayuda con la que se conseguiría un modelo conceptual de integración de la distribución de los suelos y sus procesos con las características del paisaje (De la Rosa, 2008).

Actualmente, muchas de las aplicaciones de los estudios de suelos proceden del almacenamiento, análisis y procesamiento de la información contenida en las bases de datos en SIG (IGAC, 2014), sin embargo, hay que aclarar que dichas tecnologías, aunque resultan de gran ayuda, no reemplazan las actividades del agrólogo, especialista en suelos, durante la confección de los mapas (Plaster, 2005). La importancia de la óptica de este se basa muy especialmente en el conocimiento de las interacciones que se producen entre ese cuerpo natural y los demás componentes de un ecosistema y en el análisis de los fenómenos que se han sucedido a través del tiempo; adicionalmente, estudian el recurso desde el punto de vista de los fenómenos que pertenecen al medio social y al campo económico (Cortés, 2004).

Ahondando ahora en el tema de la conservación del suelo, entendida por H. H. Bennett como "el uso juicioso de la tierra y en el tratamiento de la misma

con las medidas prácticas y adaptables que la mantienen permanentemente productiva, mientras está en uso" (Santamaría, 1966), tenemos que esta ha sido considerada como una de las ciencias más importantes de la agricultura, ya que, desde sus inicios como programa, ha sido apoyada por un plan de investigación a través del cual se ha tratado de encontrar nuevos instrumentos y métodos de control y de prevención, aunados a mejoras en las técnicas y en los medios ya conocidos (Bennett, 1955). Dicha aseveración podría decirse que se mantiene vigente hasta nuestros días, pues el advenimiento tecnológico ha permitido poner a la orden de los investigadores actuales recursos insospechados para aquella época, en procura de los mismos objetivos.

La historia de la conservación de suelos, tal y como fue concebida por Bennett, se encuentra muy ligada al desarrollo de la ciencia del suelo (De la Rosa, 2008) y viceversa, pues el estudio del suelo ha estado relacionado directamente con el movimiento de conservación desde principios del siglo XX (Helms, 2001).

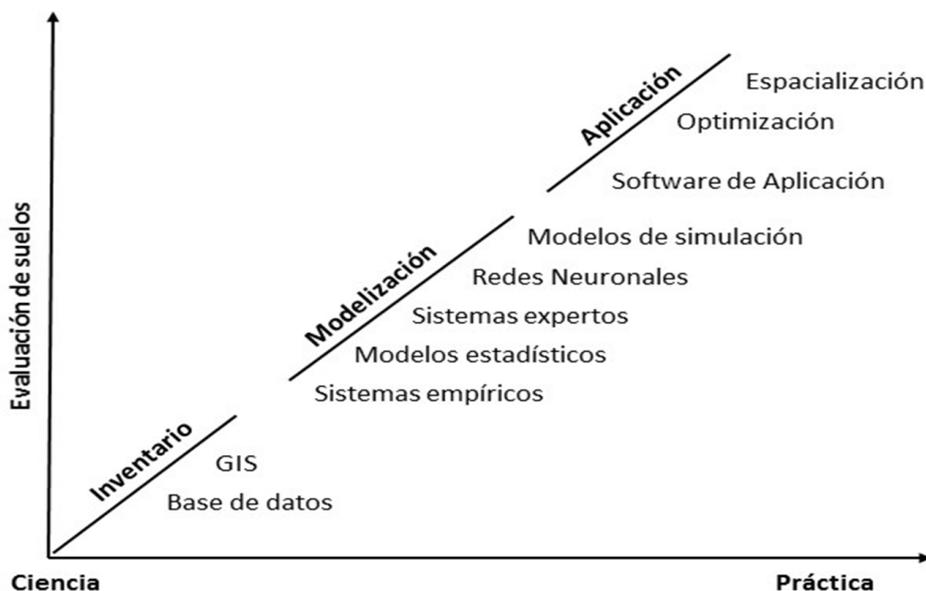
Contextualizando la evolución de los estudios de suelos en una línea de tiempo, el periodo entre 1940 y 1980 es considerado como la era de la tecnología en los suelos, donde aparece la preocupación por los problemas medioambientales, el estudio de las variables de forma simple sin inclusión del componente biológico y, básicamente, con conocimiento del comportamiento del suelo bajo uso agropecuario y la forma de solucionar sus problemas de producción. A partir de los años ochenta se amplía a otros temas, como el estudio del suelo dentro de los ciclos biogeoquímicos y el esfuerzo por la modelización de los procesos que ocurren en este (Peña-Venegas et al., 2010).

En líneas generales, el estudio de los suelos ha evolucionado a través de los primeros 100 años, donde se pueden definir al menos tres etapas. La primera incluye los primeros 30 años, cuando la cartografía era completada sobre plano-tablas y sin un plan formal de clasificación. La siguiente etapa, marcada por el advenimiento de la fotografía aérea y el desarrollo del primer plan de clasificación en los años treinta, y la última, nombrada como la de los modernos estudios de suelos, los cuales datan el desarrollo de la taxonomía de suelos y de técnicas avanzadas. En cada una de estas etapas, se ha hecho evidente una conexión con los significativos avances de la tecnología y la ciencia que actualmente están sustentadas en la era electrónica, con la habilidad de las computadoras y el almacenamiento de datos (Mausbach, 1998). Como ejemplo de esta última etapa, tenemos la base de datos digitales del terreno y suelos

del mundo (SOTER, por su sigla en inglés) (Van Engelen & Dijkshoorn, 2013) y la digitalización del mapa de evaluación global de degradación de suelos (GLASOD, por su sigla en inglés) (Oldeman et al. 1991), disponibles para los SIG.

En el presente, resulta necesario manejar una extensa información sobre factores físicos, químicos y biológicos del suelo y otros afines, además de los condicionantes socioeconómicos para los que no es eficiente el uso de simples procedimientos, sino que, por el contrario, amerita el uso de metodologías bien elaboradas que hagan empleo de las más avanzadas tecnologías de la información y la comunicación (TIC), que tiendan a configurar los sistemas integrados de ayuda en la toma de decisiones (De la Rosa, 2008) (Figura 4).

Figura 4. Principales etapas y metodologías utilizadas para convertir la información básica en conocimiento práctico siguiendo la tendencia más avanzada en evaluación de suelos



Fuente: De la Rosa (2008).

En este mismo orden de ideas, pensando no solo en el conocimiento del suelo, sino en su conservación y la del ambiente, destaca la importancia de la efectiva interacción con otras ciencias: de la ingeniería, de la atmósfera, de las plantas, de los ecosistemas... con la consideración, además, de que cada grupo de profesionales deberá apreciar sus dificultades y las de los otros y cooperar amplia y mutuamente, ya que pocos son los problemas que se resuelven dentro de los límites de una especialidad (Schwab et al., 1990).

7. ¿Cómo se plantea la contribución de la ciencia del suelo para el logro del desarrollo sostenible en los años por venir?

La importancia de los suelos para la sociedad ha ganado un reconocimiento cada vez mayor en la última década, dado su potencial para contribuir significativamente con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (SDG, por su sigla en inglés) de las Naciones Unidas. Al respecto, Evans et al. (2021) señalan que aunque solo seis de los 17 SDG mencionan la palabra "suelo" en sus descripciones, la importancia de mantener los suelos productivos para el desarrollo sostenible ha sido cada vez más reconocida por los científicos y por los forjadores de políticas, legisladores y parlamentarios (Banwart, 2011; Keesstra et al., 2016; IPBES, 2018, citados por Evans et al., 2021). Esto se debe en gran medida al hecho ya mencionado de que los suelos son un nexo esencial entre las diferentes esferas del ambiente terrestre, ya que facilitan un diverso arreglo de importantes funciones ecosistémicas.

La seguridad del suelo (SS) ha surgido a mediados de la pasada década como un nuevo paradigma para abordar la gestión sostenible del suelo. La SS es definida como el mantenimiento y la mejora de los recursos de suelo del mundo para que estos puedan seguir contribuyendo de manera importante a la producción de alimentos, agua dulce, sostenibilidad energética y climática, a la conservación de la biodiversidad y la protección general de los bienes y servicios ecosistémicos (Koch et al., 2013; McBratney et al., 2014). Montanarella y Panagos (2021) destacan que la SS, seguidamente a su emergencia, ha venido ganando impulso dada su vinculación con todos estos tópicos de gran actualidad mencionados en su definición y, por ende, con los SDG.

Evans et al. (2021) también señalan que si bien es importante continuar abordando las brechas de conocimiento en la ciencia del suelo, esenciales para la consecución de los SDG debido a que se cuenta con tiempo y presupuesto limitados, también es pertinente identificar métodos de trabajo efectivos que aseguren que la investigación llevada a cabo conduzca a un impacto en el mundo real. Los mismos autores sugieren tres estrategias para la actual década (2021-2030) concernientes a la ciencia del suelo y en sintonía con los SDG que comprenden: 1) una mayor aplicación de la investigación en materia de políticas, 2) asociaciones interdisciplinarias para evaluar las funciones, ventajas y ganancias de la sinergia entre la ciencia del suelo y otras de dominios

ambientales y 3) la integración de métodos de monitoreo, seguimiento y modelización para garantizar que las políticas basadas en el suelo puedan resistir las incertidumbres del futuro.

A modo de cierre

La dificultad de cobertura del tema tratado, dada su amplitud y relevancia, hace necesario añadir a manera de cierre los siguientes comentarios complementarios, pero también reiterativos.

A lo largo del tiempo, en el desarrollo de la ciencia del suelo se han manifestado diferentes concepciones y formas de hacer investigación desde sus inicios, con un enfoque pedológico y motivación de aplicaciones principalmente edafológicas; sin embargo, ha seguido evolucionando y ha mantenido un carácter dinámico y de cambio constante, con aportes de otras ciencias y de los múltiples avances tecnológicos. Con la integración de aspectos ambientales en sus aplicaciones, la ciencia del suelo ha aportado conocimientos importantes para la comprensión y prevención de amenazas naturales activadas o aceleradas por la acción antrópica. Tal es el caso de los procesos de erosión y los que se vinculan a estos de forma estrecha: los movimientos en masa y las inundaciones. El análisis de riesgo se convierte entonces en un procedimiento cuyo objetivo es la descripción del peligro físico que incluye la observación de los factores involucrados, donde el suelo juega un rol preponderante.

El entendimiento del concepto de *suelo* como un sistema biológico, objeto de la ciencia del suelo, no siempre ha estado claro en la mente de quienes de una u otra forma lo utilizan como recurso natural, pues aún con alguna frecuencia se le suele señalar como un componente abiótico de los ecosistemas y hay quienes mencionan la existencia de suelos infértiles o incapaces de producir plantas, casi siempre afectados por degradación inducida por un inadecuado o abusivo uso y manejo. Bajo esta apreciación, primeramente, se ignora que los suelos en sí mismos son "cuerpos naturales contenedores de vida" no solo por la inmensa cantidad y variedad de organismos que los habitan temporal o permanentemente, sino porque en ellos se desarrollan procesos fundamentales para la *génesis del suelo* y el sostenimiento de la vida en el planeta. Además, tales señalamientos implican desconocer que, por definición, para que la capa superficial de la corteza terrestre alcance la condición de suelo mediante complejos procesos de pedogénesis es indispensable que esta contenga materia viviente y que soporte o sea capaz de dar sostén a las plantas y, por ende, a la vida.

En cuanto al tema de los levantamientos de la información de suelos, en la actualidad, en las zonas de mayor desarrollo agropecuario y socioeconómico, se hace necesario conocer en detalle el suelo y su variabilidad espacial, con apoyo de la geoestadística y demás avances tecnológicos, como modo para poder optar por una agricultura de precisión y un manejo adecuado de suelos para sitios específicos y con ello implementar sistemas de manejo más eficientes, con menores costos de producción, mayor calidad de los productos, competitividad en los mercados internacionales, y, a la par, conservar el ambiente. Debe fomentarse el acoplamiento y la efectiva interacción con otras ciencias promoviendo las aplicaciones multidisciplinarias y apoyando las acciones para afrontar a nivel mundial los cambios ambientales contemporáneos y sus consecuencias para contribuir con el logro de un desarrollo sostenible y, valga la redundancia, resiliente.

Agradecimientos

Al Programa de Doctorado en Ciencias Forestales y Ambientales del Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP), Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales (FCFA), Universidad de los Andes (ULA), Mérida, Venezuela, al cual se vincula este documento. Finalmente, se agradece al Comité Editorial del boletín por sus aportes y observaciones.

Referencias

- Ávila Baray, H. L. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación*. Eudmet.net.
- Bennett, H. H. (1955). *Elements of Soil Conservation*. (2ª ed.). McGraw-Hill.
- Blum, W. E. H. (2005). Functions of Soil for Society and the Environment. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 4, 75-79. <https://doi.org/10.1007/s11157-005-2236-x>
- Brown, R. (1998, July 5-8). Educating the Users and General Public on Application of Soil Survey Information. [Sesión de conferencia]. In *Annual Conference of the Soil and Water Conservation*. San Diego, EE. UU.
- Burbano, H. (2002, septiembre 26 y 27). *La ciencia del suelo frente a los nuevos paradigmas científicos y a las demandas de la sociedad*. [Sesión de conferencia]. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Manabí, Ecuador.
- Carmona, P. & Ruiz, J. (1996). Cartografía geomorfológica, cartografía automática y sistemas de información geográfica (Hoja MTN n° 747 Sueca). *Cuaternario y Geomorfología*, 10(1-2), 3-19.
- Carmona, P. (2003). El tómbolo del Tiro, el delta del Guadalhorce y la bahía de Lixus. Geomorfología y geoarqueología de litorales fenicios. En G. Bellard (ed.), *Ecohistoria del paisaje agrario: la agricultura fenicio-púnica en el Mediterráneo* (pp. 1-32). Universitat de València.
- Casanova, E. (2005). *Introducción a la ciencia del suelo*. (2ª ed.). Universidad Central de Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico.

- Chaudhary, B. S. & Kumar, S. (2018). Soil erosion estimation and prioritization of Koshalya-Jhajhara watershed in North India. *Indian Journal of Soil Conservation*, 46(3), 305-311.
- Cortés, A. (2004). *Suelos colombianos: una mirada desde la academia*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Recursos Naturales.
- De La Rosa, D. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Durán, J., García, J., & Izquierdo, R. (1989). *Cartografía y fotointerpretación de suelos*. Corporación Universitaria de Ciencias Agropecuarias.
- European Commission (2006, septiembre 22). *Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection [SEC(2006)620] [SEC(2006)1165]. Soil Thematic Strategy, COM(2006) 231*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52006DC0231>
- Evans, D., V. Janes-Bassett, P. Borrelli, C. Chenu, C. Ferreira, R. Griffiths, Z. Kalantari, S. Keesstra, R. Lal, P. Panagos, D. Robinson, S. Seifollahi-Aghmiuni, P. Samanehh, T. Steenhuis, A. Thomas, & S. Visser. (2021). Sustainable futures over the next decade are rooted in soil science. *European Journal of Soil Science*, 73(1), Art. e13145. <https://doi.org/10.1111/ejss.13145>
- Febles, J. & Vega, M. (2009). Análisis de los procesos erosivos en los espacios rurales cubanos. En A. Tolón & X. Lastra (eds.), *Desarrollo en espacios rurales iberoamericanos, sostenibilidad e indicadores* (pp. 151-184). Editorial Universidad de Almería.
- Fitzpatrick, E. (2011). *Introducción a la ciencia del suelo*. Editorial Trillas.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). *Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management*. FAO.
- Fumanal, M. & Calvo, A. (1981). Estudio de la tasa de retroceso de una vertiente mediterránea en los últimos 5.000 años (Sierra del Benicadell, Sur del País Valenciano). *Cuadernos de Geografía de la Universitat de València*, 29, 133-150. <https://ojs.uv.es/index.php/CGUV/article/view/15084/13780>
- Giménez, P. (2009). Karl W. Butzer y la lectura ambiental de la expulsión de los moriscos. *Revista de Historia Moderna*, 27, 317-333. <https://doi.org/10.14198/RHM2009.27.13>
- Goldman, D. (2013, marzo 4). Conocimiento explícito. *Innmentor*. <https://www.innmentor.com/2013/03/04/el-conocimiento-tacito-externalizacion-en-el-sxxi/>
- Hartemink, A. E. & Mcbratney, A. (2008). A soil science renaissance. *Geoderma*, 148(2), 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.10.006>
- Helms, D. (2001). The Early Soil Survey: Engine for the Soil Conservation Movement. In D. E. Stott, R. H. Mohtar & G. C. Steinhardt (eds), *Sustaining the Global Farm* (pp. 1029-1033). Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Imeson, A. & Curfs, M. (2008). *La erosión del suelo. Lucinda 1B*. http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/B1_Booklet_Final_ES.pdf
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2014). *El ABC de los suelos para no expertos*. IGAC.
- Jaramillo, D. (2014). *El suelo: origen, propiedades, espacialidad*. (2ª ed.). Universidad Nacional de Colombia.
- Kirkby, M. & Morgan, R. (1980). *Erosión de suelos*. Limusa.
- Koch, A., McBratney, A. B., Adams, M., Field, D. J., Hill, R., Lal, R., Abbott, L., Angers, D., Baldock, J., Barbier, E., Bird, M., Bouma, J., Chenu, C., Crawford, J., Flora, C. B., Goulding, K., Grunwald, S., Jastrow, J., Lehmann, J., Lorenz, K., Minansy, B., Morgan, C., O'Donnell, A., Parton, W., Rice, C. W., Wall, D. H., Whitehead, D., Young, I. & Zimmermann, M. (2013). Soil Security: Solving the Global Soil Crisis. *Global Policy*, 4(4), 434-441. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12096>

- Larsson, R. & Strömquist, L. (1995). *Monitoreo del medio ambiente con análisis de imágenes satelitarias*. Asdi.
- Mausbach, M. (1998, July 5-8). Assessment and Future Direction for a National Soil Survey Program. [Sesión de conferencia]. In *Annual Conference of the Soil and Water Conservation*. San Diego, EE. UU.
- McBratney, A., Field, D. & Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203-213. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.013>
- Montanarella, L. & Panagos, P. (2021). Soil Security for the European Union. *Soil Security*, 4, 100009. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100009>
- Oldeman, L., Hakkeling, R. & Sombroek, W. (1991). *Global Assessment of Soil Degradation GLASOD*. Publ. in cooperation with Winand Staring Centre, International Society of Soil Science, Food and Agricultural Organization of the United Nations, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Panagos, P. & Montanarella, L. (2018). Soil thematic strategy: An important contribution to policy support, research, data development and raising the awareness. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, 38-41. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.008>
- Pebles, J. & Miranda, R. (1989). *La protección de los suelos*. Convenio Corporación Universitaria de Ciencias Agropecuarias (CUDCA); Instituto de Ciencias Agropecuarias de La Habana (ISCAH).
- Peña-Venegas, C., Vanegas, G., & Instituto Sinchi (2010). *Procesos de degradación y alternativas para su recuperación*. (1ª ed.) Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Plaster, E. (2005). *La ciencia del suelo y su manejo*. Thompson Editores.
- Quiñonez, E. & Dal Pozzo, F. (2008). Distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el estado Lara, Venezuela. *Geoenseñanza*, 1, 59-70.
- Real Academia Española (RAE). (2014). Ciencia. *Diccionario de la lengua española* (23ª ed.). <https://dle.rae.es/ciencia>
- Santamaría, F. (1966). Conservación de suelos. *Boletín Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*, 110, 519-539.
- Schwab, G., Frevert, R., Edminster, R., & Barnes, K. (1990). *Ingeniería de conservación de suelos y aguas*. Editorial Limusa.
- Sicard, T. (2004). Presentación. En A. Cortés, *Suelos colombianos: una mirada desde la academia* (pp. 7-11). Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Recursos Naturales.
- Singer, M. & Munns, D. (1992). *Soils: an introduction*. (2ª ed.). Maxwell Macmillan International Editions.
- Smith, D. (1998, July 5-8). Soil survey during its infancy of the late 1890's and early 1900's. [Sesión de conferencia]. *Annual Conference of the Soil and Water Conservation*. San Diego, EE. UU.
- Soil Classification Working Group (1998). *The Canadian System of Soil Classification*. (3rd ed.). Agriculture and Agri-Food Canada Publication nº 1646.
- Stocking, M. & Murnaghan, N. (2003). *Manual para la evaluación de campo de la degradación de la tierra*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Van Engelen V. W. P. & Dijkshoorn, J. A. (2013). *Global and National Soils and Terrain Databases (SOTER)*. Procedures Manual, Version 2.0, ISRI - World Soil Information.
- Vidal, P. (2003). Ecología y paisaje fenicio-púnico de la isla de Malta. En G. Bellard (ed.), *Ecohistoria del paisaje agrario: la agricultura fenicio-púnica en el Mediterráneo* (pp. 255-270). Universitat de València.