



Foto: W. Mesa

# SALUD DEL SUELO EN SISTEMAS AGRÍCOLAS DEL URUGUAY: lecciones aprendidas del análisis de experimentos de largo plazo

Ing. Agr. MSc. PhD Valentina Rubio

Sistema Agrícola Ganadero

Este artículo condensa información sobre un conjunto de trabajos publicados en revistas arbitradas introduciendo el concepto de salud del suelo, su evaluación, importancia y manejo.

El suelo es un recurso natural no renovable e irremplazable. Reducir su degradación y restaurar suelos degradados es necesario para mantener diferentes funciones de nuestros ecosistemas en las que el suelo juega un rol fundamental. Sin embargo, nuestros sistemas agrícolas actuales pueden provocar efectos adversos sobre el suelo y el ecosistema.

Tradicionalmente, el suelo era reconocido únicamente por su función de proveer alimentos. Sin embargo, el

reconocimiento de su importancia para un conjunto más amplio de servicios ecosistémicos y en la calidad ambiental a nivel local, regional y global han aumentado el interés en su preservación a nivel mundial por fuera del ámbito meramente productivo. Este interés se evidencia en la creciente adopción del concepto de salud del suelo, definido como "la capacidad del suelo para funcionar como un ecosistema vivo y esencial que mantiene la vida de plantas, animales y humanos" (USDA-NRCS, 2020).

Entre otros beneficios, los suelos saludables permiten: una mayor infiltración y almacenaje del agua de lluvia, por lo que son más resilientes ante condiciones de sequía y, a su vez, su mejor drenaje reduce los riesgos de anegamiento e inundaciones; un aumento en la disponibilidad de nutrientes para las plantas siendo menos dependientes de fertilizantes externos; disponer de una gran diversidad de micro, meso y macroorganismos, lo que genera innumerables beneficios como un mejor ciclado de nutrientes y la supresión de enfermedades y plagas para las plantas, reduciendo la necesidad de aplicar agroquímicos; finalmente, un suelo sano tiene una mejor agregación, lo que reduce las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión y promueve una mejor calidad del agua de ríos y arroyos.

En este artículo se pretende resumir un conjunto de trabajos publicados en revistas arbitradas introduciendo el concepto de salud del suelo, su evaluación, importancia y manejo.

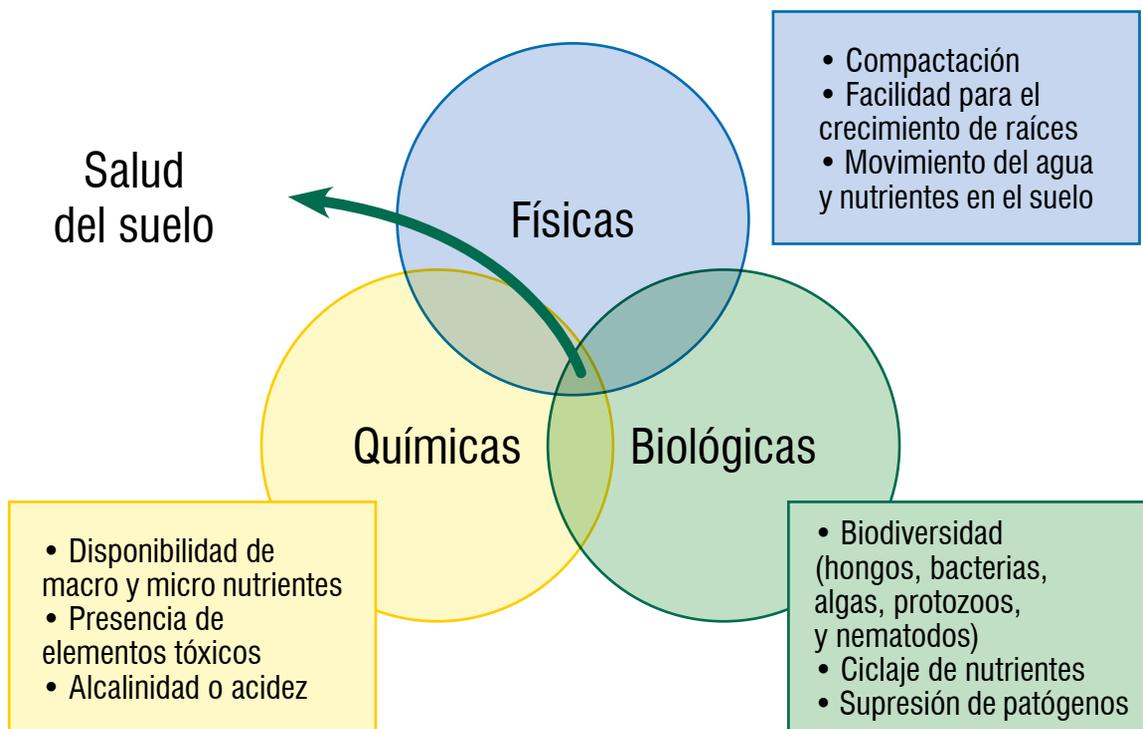
### ¿CÓMO EVALUAMOS LA SALUD DEL SUELO?

La salud del suelo depende de la compleja interacción entre sus propiedades químicas, físicas y biológicas,

por lo que su evaluación abarca diferentes propiedades que, integradas, determinan la capacidad de funcionar del suelo.

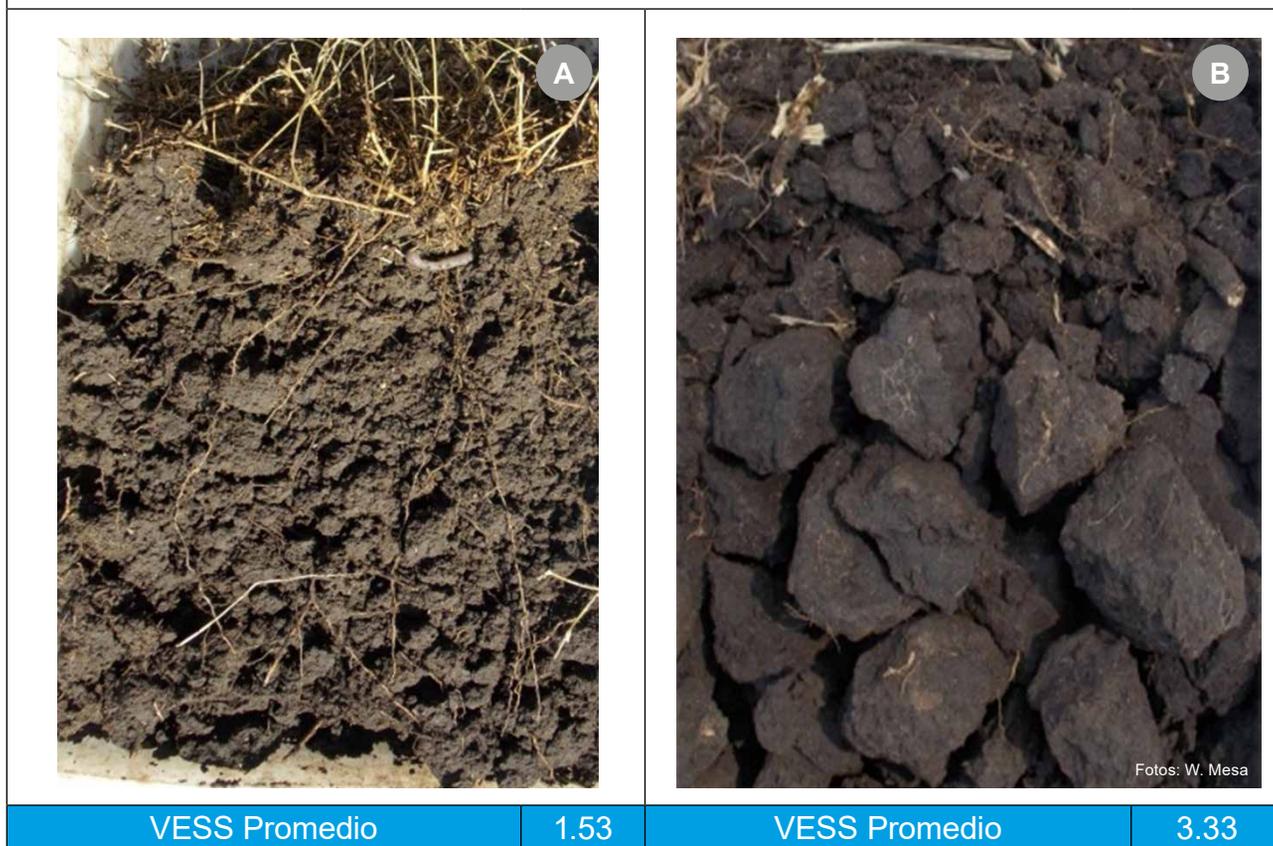
Las evaluaciones comprensivas de la salud del suelo que incluyan la determinación de indicadores químicos, físicos, y biológicos son necesarias para evaluar al suelo de manera integral e identificar las principales limitantes para su correcto funcionamiento. Metodologías como la evaluación comprensiva de la salud del suelo (CASH por su sigla en inglés *Comprehensive assesment of soil health*) propuesta por la Universidad de Cornell, USA, incluye una serie de indicadores físicos y biológicos que complementan al tradicional análisis químico, se relacionan con las principales funciones del suelo, y permiten detectar los efectos del manejo. Además, el bajo costo y tiempo de determinación requerido para este conjunto de indicadores permitiría su evaluación en laboratorios comerciales.

Los indicadores físicos incluyen la estabilidad de agregados, el agua disponible y la resistencia a la penetración. Los indicadores biológicos incluyen el carbono total, la fracción de carbono oxidable con permanganato (POXC), la respiración microbiana y el contenido de proteína del suelo.



**Figura 1** - Diagrama conceptual representando los principales procesos regulados por las propiedades físicas, biológicas, y químicas del suelo cuya interacción determina la salud del suelo.

Además de evaluar la salud mediante determinaciones en el laboratorio, información valiosa puede ser obtenida mediante la evaluación visual del suelo a nivel de campo. La metodología de VESS (por su sigla en inglés “*visual evaluation of soil structure*”), por ejemplo, proporciona una guía útil que permite evaluar el suelo en una escala de 1 a 5 para una serie de propiedades asociadas a su estructura, donde 1 representa suelos sanos y 5 suelos degradados. Esta metodología puede ser de gran utilidad para comparar suelos de chacra con relación a referencias de suelos bajo condiciones naturales.



**Figura 2** - Ejemplo de un suelo sano (A) y uno degradado (B) según la evaluación de VESS.

Los indicadores determinados son transformados en un valor relativo (de 0 a 100) en base a la distribución normal de los valores observados para cada indicador en un conjunto de suelos similares, lo que permite comparar e integrar los valores observados para los diferentes indicadores (Figura 3). Trabajos iniciales realizados por INIA han mostrado las potenciales

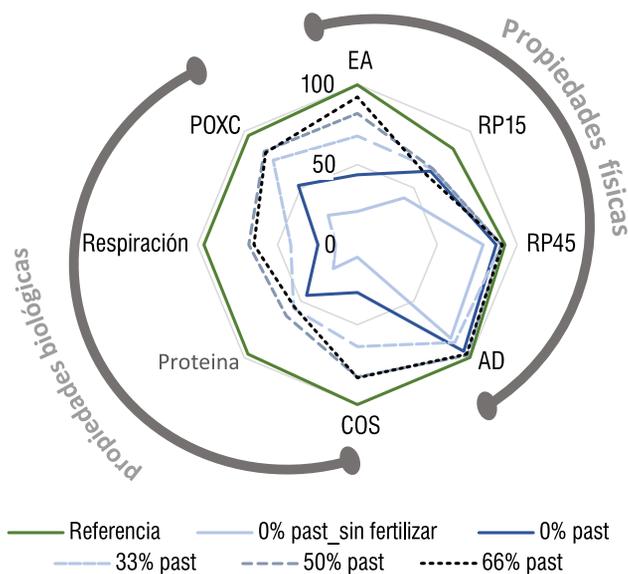
ventajas de la aplicación de la metodología CASH en nuestros suelos y permiten que contemos con los primeros valores de referencia para la interpretación de los diferentes indicadores.

#### **La determinación de propiedades físicas y biológicas es fundamental para entender los efectos del manejo en la salud del suelo**

Mediante un análisis comprensivo de la salud del suelo en diferentes experimentos de largo plazo del Uruguay, encontramos que las propiedades físicas y biológicas pueden ser más sensibles a los cambios de uso que las propiedades químicas tradicionalmente medidas para la toma de decisiones (Rubio *et al.*, 2022).

Esto se asocia a que las prácticas de fertilización o enclado pueden corregir las limitantes químicas en el corto plazo, enmascarando los efectos de la degradación. Sin embargo, la remediación del deterioro físico y biológico del suelo en el corto plazo no es posible, requiriéndose cambios de mediano o largo plazo.

Se requiere un abordaje de la salud del suelo que incluya la determinación de indicadores químicos, físicos, y biológicos, para evaluar al suelo de manera integral e identificar las principales limitantes para su correcto funcionamiento.



**Figura 3** - Gráfico de araña mostrando el efecto del porcentaje de pasturas (past) y la fertilización en las propiedades biológicas y físicas del suelo (0-15 cm) donde 0 representa un suelo degradado y 100 en condiciones óptimas; EA: refiere a la estabilidad de agregados; RP15: resistencia a la penetración 0-15 cm; RP45: Resistencia a la penetración 15-45 cm; AD: agua disponible para los cultivos; COS: Carbono orgánico total; POXC: fracción de Carbono oxidable con permanganato. Adaptado de Rubio *et al.* (2022).

Así, aquellas propiedades biológicas asociadas a la actividad y abundancia de microorganismos como la respiración del suelo fueron observadas como las más deterioradas por la actividad agrícola (Figura 3). De manera similar, la estabilidad de agregados, que refleja la capacidad del suelo a mantener su forma y porosidad cuando se enfrenta a un factor de estrés, como el tráfico de maquinaria o el impacto de las gotas de lluvia, también mostró gran sensibilidad a los cambios en manejo.

### La determinación de las propiedades físicas y biológicas es fundamental para entender el potencial productivo de nuestros suelos

A nivel nacional, es creciente el número de evidencias que muestran que en suelos agrícolas degradados existen limitantes en el rendimiento asociadas a

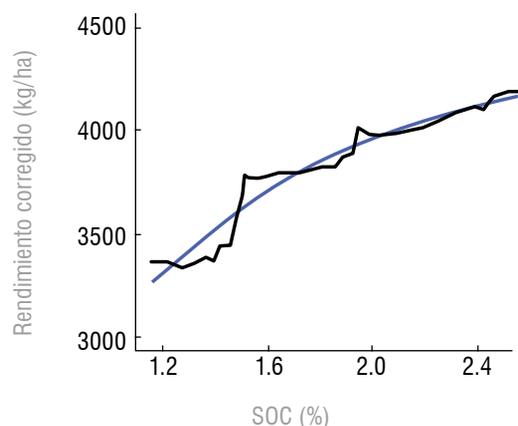
Las propiedades biológicas asociadas a la actividad y abundancia de microorganismos, como la respiración del suelo, fueron las más deterioradas por la actividad agrícola.

En suelos agrícolas degradados existen limitantes en el rendimiento asociadas a limitantes físicas y biológicas que no pueden ser eliminadas en el corto plazo con el agregado de nutrientes.

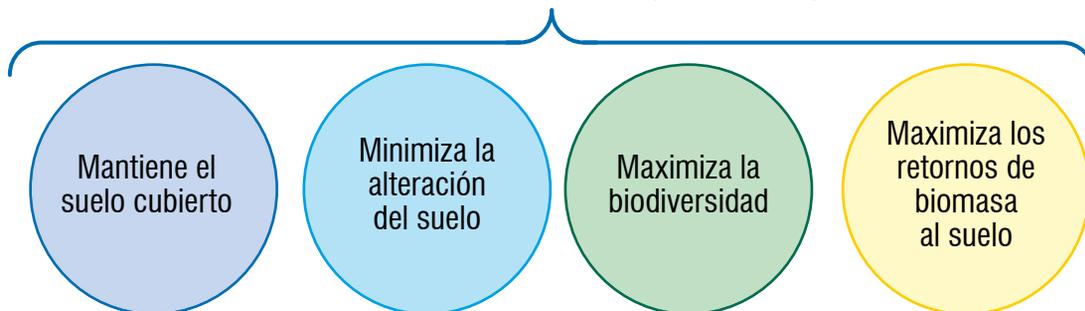
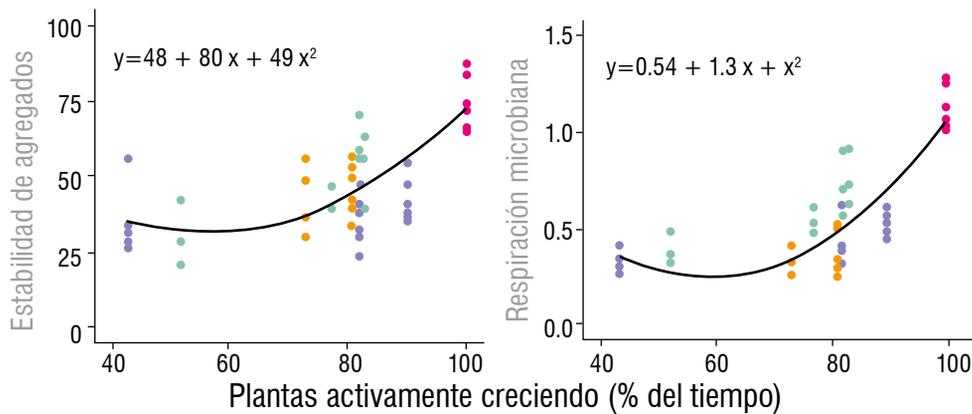
limitantes físicas y biológicas que no pueden ser eliminadas en el corto plazo con el agregado de nutrientes (Ernst *et al.*, 2018, Rubio *et al.*, 2021 a y b). Para entender estas limitantes evaluamos los efectos del clima, manejo y la salud del suelo en el rendimiento de trigo y cebada analizando 56 años de datos de un experimento de largo plazo (ELP) de INIA la Estanzuela.

En este ELP, los manejos contrastantes de un sistema agrícola con diferentes porcentajes del tiempo bajo pasturas (0 %, 33 %, 50 %, y 66 % de pasturas en la rotación) generaron diferentes grados de degradación de suelo (Rubio *et al.*, 2021a). Esta degradación fue cuantificada con una variación en la concentración de carbono del suelo entre 1,2 y 2,6 %, la que se asoció a un deterioro generalizado de la salud del suelo.

Las pérdidas de carbono resultaron en pérdidas de rendimiento (Figura 4) y la magnitud de estas pérdidas fue afectada por las condiciones climáticas, siendo máximas en los años con mayor potencial de rendimiento. Este análisis presenta evidencia cuantitativa que confirma el rol central de la salud del suelo en la determinación del rendimiento de los cultivos, independientemente del manejo de la fertilización.



**Figura 4** - Efecto del contenido de carbono en el suelo en el rendimiento medio corregido de trigo y cebada (1962-2019; (Rubio *et al.*, 2021a).



**Figura 5** - Beneficios del aumento en el porcentaje de plantas promedio activamente creciendo en la salud del suelo, medida como la estabilidad de agregados y la respiración microbiana. Adaptado de Rubio *et al.* (2022).

**¿CÓMO PROMOVEMOS SUELOS SALUDABLES?**

Es necesario identificar prácticas efectivas que permitan promover la salud de suelo. El diseño de prácticas de conservación de suelo debe ser definido específicamente para cada sitio, considerando las condiciones de manejo inicial y los objetivos específicos de cada productor.

Si bien variaciones en la respuesta del suelo a diferentes prácticas de conservación, como la siembra directa o los cultivos de cobertura, han sido observadas, todas aquellas prácticas que maximizan los períodos de tiempo con vegetación en activo crecimiento generan beneficios para la salud del suelo. Así, el diseño de sistemas agrícolas sustentables debería mantener cuatro principios fundamentales de la conservación de suelos: mantener el suelo cubierto, minimizar la alteración (o laboreo), maximizar la biodiversidad y maximizar los retornos de biomasa al suelo (Figura 5).

**BIBLIOGRAFIA**

Ernst, O.R., Dogliotti, S., Cadenazzi, M., Kemanian, A.R., 2018. Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield. *F. Crop. Res.* 217, 180–187. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.014>

Rubio, V., Diaz-Rossello, R., Quinke, J.A., & van Es, H. M. , 2021a. Quantifying soil organic carbon ' s critical role in cereal productivity losses under annualized crop rotations. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 321(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107607>

Rubio, V., Quinke, A., Ernst, O., 2021b. Deep tillage and nitrogen do not remediate cumulative soil deterioration effects of continuous cropping. *Agron. J.* 113, 5584–5596. <https://doi.org/10.1002/agj2.20927>

Rubio, V., Sawchik, J., & van Es, H. (2022). Soil health benefits from sequence intensification, fertilization, and no-tillage in annual cropping systems. *Soil Security*, 9, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2022.100074>

USDA-NRCS., 2020. Soil Health. Retrieved from <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health>



**Figura 6** - Izquierda: suelo con rastrojo; derecha: suelo desnudo.