



Figura 1. Ensayo para comprobar la participación de hongos en la formación de agregados del suelo. Suelo pulverizado y esterilizado después de quince días de inoculación con *Aspergillus* sp. Las incrustaciones blancas sobre y entre agregados corresponden a sus conidióforos y conidias. Fuente: Sánchez de Prager, M.

Marina Sánchez de Prager

Profesora Titular de Dedicación Exclusiva, Tenente de cargo, Universidad Nacional de Colombia. msanchezpr@unal.edu.co

El suelo, hábitat de los microorganismos: de lugar de albergue a espacio multifuncional

La conceptualización del suelo a través del tiempo se construye y deconstruye en una dinámica permanente, especialmente cuando se concibe como espacio vivo y multifuncional. La investigación y el conocimiento científico hacen aportes invaluable a la comprensión teórico-práctica de lo que sucede cotidianamente en el quehacer de nuestros agricultores en todo el mundo, especialmente de aquellos que se han empeñado en producir los alimentos sanos, limpios, amigables con el ambiente, sin acudir a los insumos de síntesis petroquímica y dentro de principios de justicia social y visión de futuro para las nuevas generaciones. Para ellos, el suelo es aliado indispensable y su componente microbiano, incluida la micorriza arbuscular (MA), fundamental en los procesos de producción sostenible desde perspectivas económicas, sociales y ambientales.

El suelo vivo, construcción que emerge desde lo colectivo

En la concepción de suelo vivo, el material parental evolucionado en minerales primarios y secundarios es pilar sobre el cual las condiciones ambientales y bióticas transforman las rocas en partículas como arenas de diferente grosor, limos y arcillas (éstas últimas con tamaños nanométricos¹) y arreglo organizado de láminas de aluminio y sílice superpuestas, que le confieren cualidades a estas partículas, como alta superficie específica, capacidad de intercambio catiónico, de acomplejarse con la materia orgánica, entre otros (Foth, 1990, pp. 152-151; Sánchez de Prager, 2018, pp. 71-72). Las arenas, limos y estas arcillas, unidos a la acción de la biota del suelo (especialmente el microbioma) y de la materia orgánica (viva y no viva), se integran con los componentes minerales inorgánicos para dar origen al suelo vivo.

El microbioma del suelo, invisibilizado en el concepto simplificado de suelo como sustrato, cada vez gana más importancia ante las evidencias de la ciencia que ha corroborado que el genoma microbiano es componente permanente y su comunidad se estima en más de 1×10^{11} microorganismos por g de raíz (Dykhuisen, 2005, p. 5). Al interpretar la cifra anterior, comprendemos que pululan en el suelo y su abundancia supera con creces el bioma vegetal y animal juntos. Su actividad se centra en la rizosfera en donde se han registrado hasta 30.000 especies de bacterias por gramo de suelo y se registran 10^7 microorganismos por cm^2 de raíz (Dykhuisen, 2005, p. 5; Turner, James y Poole, 2013, p. 3). Entre las múltiples actividades que desempeñan sobresale su participación en los ciclos biogeoquímicos de la materia (el ciclaje del C, N, P, S, y de elementos menores, está tan íntimamente ligados a ellos, que se los denomina ciclos biológicos), su papel en la formación de agregados del suelo como resultado de interrelaciones químicas, físicas y biológicas (Figura 1) (cualidad ligada a la circulación de aire, nutrientes, agua y biomoléculas), mecanismos de comunicación interespecies dentro y sobre el suelo,

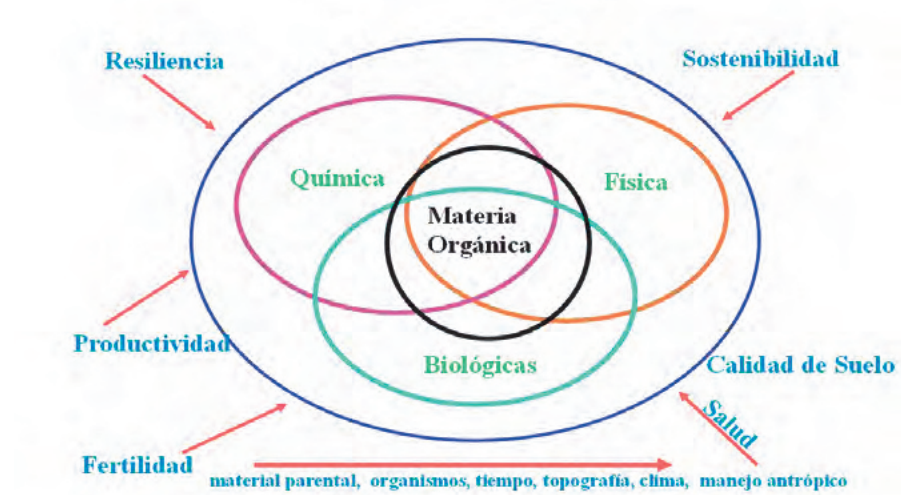


Figura 2. Propiedades emergentes del sistema suelo que se extienden a los agroecosistemas. Fuente: Sánchez de Prager, 2003, 2018, p. 54; Sánchez de Prager y col, 2007, p. 57.

vía moléculas, secreciones y excreciones que se fabrican en la rizosfera (Lambers y col., 2006; Sánchez de Prager, 2018, pp. 83, 110), que se traducen en relaciones antagónicas y/o amigables en función de convivencia, cooperación y supervivencia, síntesis de vitaminas, digestión de fibras y moléculas complejas, entre otras.

Cada vez se acepta más la hipótesis de que el sistema inmunitario maduro de los animales necesita de un microbioma asociado (Madrinán, 2019; Raaijmakers y Mazzola, 2016, p. 1392; Yong, 2017, p. 76). Si sumamos argumentos construidos desde la práctica y la teoría, también cabe esta afirmación para los sistemas de cultivos; algunas evidencias las aportan autores como Hinsinger, y col., (2009), que nos llevan a comprender el suelo vivo como propiedad emergente que surge desde lo colectivo, inexplicable a partir de un solo componente.

El suelo, lugar multifuncional magnificado en la rizosfera

Las plantas jugaron un papel trascendental en la transformación del material inerte que cubría la superficie terrestre a suelo vivo. Las evidencias apuntan hacia la vida vegetal acuática que explora la superficie terrestre y para ello, requiere de adaptaciones que les permitan captar alimentos que tenían fácilmente disponibles

en el agua. Surgen entonces los primeros intentos de formación de raíces superficiales ante un entorno pétreo difícil de colonizar pero indispensable para la vida. Las plantas invierten parte de sus fotosintatos en esta colonización: algunas de estas evidencias las constituyen las raíces proteoides rodeadas de sus lisados, células rotas, material orgánico, ácidos orgánicos y gases, que excretan y secretan, algunos de los cuales, capaces de disolver material rocoso (Sánchez de Prager, 2018, pp. 142, 188-189). En este material gelatinoso, los microorganismos encuentran albergue y sustrato, forman colonias donde al tiempo que se alimentan y multiplican, solubilizan el material parental y mineralizan los restos orgánicos en ciclaje permanente que asegura su propia supervivencia y de las plantas asociadas. Hoy, comprendemos que esto lo realizan las comunidades vegetales en conjunto, quienes invierten en el suelo sus fotosintatos y cosechan, también en conjunto, nutrientes y moléculas que les garantizan la comunicación, inmunidad, sanidad, productividad, entre otros beneficios. Entonces las plantas, los microorganismos y demás organismos actúan en poblaciones y comunidades que interaccionan para mutuo beneficio. A este espacio que es volumen antes que área,

¹ Un nanómetro (nm) es igual a 10^{-9} m y un micrómetro (μm) es igual a 10^{-6} m (Tortora, Funke y Case, 2007, p. 56).

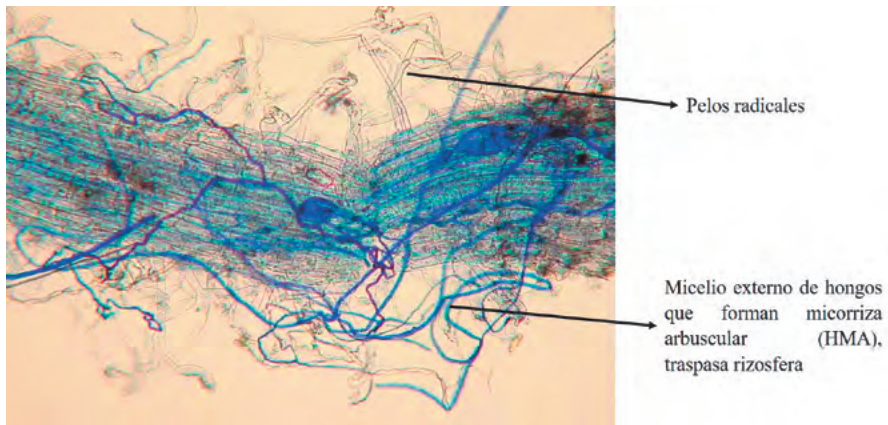


Figura 3. Raíz joven de maíz (*Zea mays* L.) micorrizada. Micelio externo de HMA que complementa acción de pelos radicales y extiende volumen y red de exploración rizosférica del suelo mediante la micorrizosfera. Fuente: Sánchez de Prager, M.

lo denominamos rizosfera (Sánchez de Prager, 2018, p. 24). Es discontinuo, cambiante, dependiendo de la edad de las plantas, es mayor en las raíces más jóvenes y también cuando las plantas están estresadas y se ven obligadas a invertir más fotosintatos abajo que arriba en su afán de supervivencia. En esa rizosfera las funciones del suelo como espacio de interrelaciones se magnifican. Por ello, el concepto de suelo rizosférico como aquel que está en íntimo contacto con las raíces. En sistemas agroecológicos caracterizados por la diversidad y complementariedad entre especies vegetales, realmente todo el suelo es rizosférico. En ellos se combinan plantas con diferentes y evolucionados sistemas radicales que extraen nutrientes a diferentes profundidades y forman estratos que delinean el perfil de los suelos, las cuales utiliza la ciencia para clasificarlos, pero al mismo tiempo nos hablan de su fertilidad como propiedad emergente, inexplicable desde la física, química y biología individualmente, sino como cualidad de conjunto. Estos perfiles orientan con respecto a la salud, productividad, resiliencia, resistencia, calidad y sostenibilidad no solamente del suelo, sino del agroecosistema (Figura 2).

La rizosfera alberga bacterias (la población dominante), hongos, protozoos, arqueas, meso y macroorganismos (colémbolos, ácaros, lombrices, hormigas, hemípteros, dípteros, entre otros). Dentro de las bacterias, existen especies que las distinguimos por hacer una labor específica, por ejemplo, fijadores de N_2 . Actual-

mente conocemos que muchas de ellas realizan múltiples funciones al tiempo; por ejemplo, fijan N_2 , solubilizan P, poseen la capacidad de secretar moléculas que quelatan y otros minerales (sideróforos) y, al mismo tiempo, secretan moléculas promotoras de crecimiento, cualidades que también se han encontrado en hongos (Sánchez de Prager, 2018, p. 76). Hasta el punto de que es mejor hablar de microorganismos promotores de crecimiento (PGPR) (Azcón, 2014; Prasad, Kumar y Varma, 2015, p. 107). Algunos de estos microorganismos forman simbiosis con las plantas; los casos más conocidos: la micorriza arbuscular (MA), la fijación simbiótica de N_2 llevada a cabo entre leguminosas-rizobios, la simbiosis tripartita plantas leguminosas-rizobios-MA. En fin, el panorama se acompleja con la aplicación de conceptos como quorum sensing, que indica que son poblaciones establecidas y maduras, con alto número de individuos de la misma especie, quienes ejecutan las diferentes actividades, inclusive la patogenicidad (Gao, Ma, Zhuang y Zhuang, 2015, p. 51).

Las micorrizas arbusculares (MA), ampliamente estudiada, la comprendemos actualmente como simbiosis que capacita a las plantas para absorber P a través de las hifas de los hongos simbiotes. Las investigaciones arrojan actualmente nuevos elementos, como la importancia del micelio externo de los HMA (Figura 3) como órgano complementario que forma redes y extiende el volumen de suelo a colonizar en beneficio de

los simbiotes, su participación en la formación de agregados y su estabilidad al enriquecer el suelo con la glomalina como molécula estable, la construcción de nuevos espacios de albergue y función para los microorganismos a través de la micorrizosfera, su participación en mayor disponibilidad de agua en suelos estresados (Azcón, 2014, p. 110; Sánchez de Prager, 2018, p. 151). La expresión de biomoléculas por parte de las plantas que permanecen en silencio, mientras la planta no las requiera, y se activan en presencia de la MA, los cambios en el metabolismo en general y su regulación, que van a incidir en la inmunidad y nutrición de las plantas micorrizadas, su productividad y salud (Ludwig-Müller, 2010, p. 171; Sánchez de Prager, 2018, pp. 205-207). También, el daño que produce a la MA la agricultura basada en la fertilización y control de plagas y enfermedades con productos obtenidos a través de síntesis petroquímica. En resumen, el suelo vivo con todos sus componentes en interacción, además de hábitat para los microorganismos y organismos en general, es espacio multifuncional, en equilibrio y desequilibrio permanente, que propicia la homeostasis en los sistemas productivos, manejados bajo principios de agricultura ecológica.

Abstract

The conceptualization of soil through time is constructed and deconstructed in a permanent dynamic, especially when it is conceived as a living and multifunctional space. Research and scientific knowledge make invaluable contributions to the theoretical and practical understanding of what happens daily in the work of our farmers around the world, especially those who have striven to produce healthy, clean, and environmental friendly food, without resorting to petrochemical synthesis inputs, and, within the principles of social justice and future vision for the new generations. For them, the soil is indispensable ally and its microbial component, including the arbuscular mycorrhiza (AM), fundamental in sustainable production processes from economic, social and environmental perspectives.

Bibliografía



- Azcón, R. (2014). Mycorrhizosphere: The Role of PGPR. En Morte, A. y Varma, A (Eds.), Root Engineering Basic and Applied Concepts (Vol. 40, pp. 107-143). Berlín: Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-54276-3_6
- Dykhuizen, D. (2005). Species Numbers in Bacteria. Proceedings. California Academy of Sciences, 56(61), 62-71. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21874075>
- Foth, H. (1990). Fundamentals of Soil Science (8th ed.). John Wiley & Sons. Recuperado de http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Aghttp://base.dnsgb.com.ua/cgi-bin/irbis64r/cgiirbis_64.exe
- Gao, J., Ma, A., Zhuang, X., y Zhuang, G. (2015). Quorum Sensing in Nitrogen Fixation. En Kalia, V. C (Ed.), Quorum Sensing vs Quorum Quenching: A Battle with No End in Sight (pp. 51-60). New Delhi: Springer India. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1982-8_5
- Hinsinger, P., Bengough, A. G., Vetterlein, D., y Young, I. M. (2009). Rhizosphere: Biophysics, Biogeochemistry and Ecological Relevance. Plant and Soil, 321(1-2), 117-152. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9885-9>
- Lambers, H., Shane, M. W., Cramer, M. D., Pearse, S. J., y Veneklaas, E. J. (2006). Root Structure and Functioning for Efficient Acquisition of Phosphorus: Matching Morphological and Physiological Traits. Annals of Botany, 98(4), 693-713. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl114>
- Ludwig-Müller, J. (2010). Hormonal Responses in Host Plants Triggered by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. En Koltai, H. y Kapulnik, K (Eds.), Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function (pp. 169-190). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9489-6_8
- Madriñan, J. (2019). Alimentación orgánica y su relación con la microbiota intestinal. En Cinemateca La Tertulia, Embajada de Francia, y Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira (Eds.), Noche de las ideas. Cali.
- Prasad, R., Kumar, M., y Varma, A. (2015). Role of PGPR in Soil Fertility and Plant Health. En Egamberdieva, D., Shrivastava, S. y Varma, A. (Eds.), Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) and Medicinal Plants (Vol. 42, pp. 247-260). Heidelberg: Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13401-7_12
- Raaijmakers, J., y Mazzola, M. (2016). Soil immune responses. Science, 352(6292), 1392-1393. <https://doi.org/10.1126/science.aaf3252>
- Sánchez de Prager, M. (2003). Actividad biológica en la rizosfera del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa*) en diferentes sistemas de manejo, estados de desarrollo y condiciones fitosanitarias. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Sánchez de Prager, M. (2018). Aportes de la biología del suelo a la agroecología. (Rodríguez, L. C. Ed.) (Dirección). Cali: Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez de Prager, M., Gómez López, E. D., Muñoz Flores, J. E., Barrios, E., Prager Mosquera, M., Bravo Otero, N., El-Sharkawi, M., Pérez, J., Asakawa, N., Marmolejo de la Torre, F., Cadavid, L., Quintero, R., Miranda, C., Mier, C., Torres, R., Trinidad, J., Zapata, C., Tofiño, R., Benjumea, C., Díaz, G., Trujillo, L., Bonilla, F., Espinosa, J., Rodríguez, H., García, H., Frans Triana, W., Carlosama, C., Vargas, N. (2007). Las Endomicorrizas: Expresión Bioedáfica de Importancia en el Trópico. (Sánchez de Prager, M. Ed.). Cali, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/56779/1/2007-Marina-SanchezdePrager.pdf>
- Tortora, G., Funke, B. R., y Case, C. L. (2007). Introducción a la Microbiología (9th ed.). Buenos Aires: Médica Panamericana. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=Nxb3iETuwplC&pg=PA56&dq=microbiologia+nm&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjX8-Gf26DXAhVFyyYKHUKZBNwQ6AEILTAC#v=onepage&q=microbiologia+nm&f=false>
- Turner, T. R., James, E. K., y Poole, P. S. (2013). The Plant Microbiome. Genome biology, 14(6), 209-219. <https://doi.org/10.1186/gb-2013-14-6-209>
- Yong, E. (2017). Yo contengo multitudes. Los microbios que nos habitan y una visión más amplia de la vida. (Chamorro, J. Ed.). Barcelona: DEBATE.