

Revista MDA

CONOCIMIENTO PARA PRODUCIR MEJOR

ISSN edición impresa 2718- 6652
ISSN en línea 2718- 6660
julio 2021
La Plata, Argentina

Vol. 2 Nro. 2

TEMA DE DEBATE EN ESTE NÚMERO

SUELOS. EL PRINCIPIO DE TODO

ARTÍCULOS TÉCNICOS Y CIENTÍFICOS

Balance de nutrientes en la agricultura extensiva bonaerense para la campaña 2019/20

Efecto de la enmienda orgánica y flora acompañante sobre el suelo y el rendimiento del tomate

Evaluación física y económica de la fertilización con fósforo en experimentos de largo plazo. Resultados de los tres primeros años en maíz, trigo y soja



Revista MDA

Publicación del Ministerio
de Desarrollo Agrario
Provincia de Buenos Aires

ISSN edición impresa 2718- 6652
ISSN en línea 2718- 6660
Vol. 2, N.º 2, julio 2021
La Plata, Argentina

INSTITUCIÓN EDITORA

Ministerio de Desarrollo Agrario (MDA)
del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.

Impreso en Imprentas del Estado Bonaerense.

Periodicidad trimestral

SEDE EDITORIAL

Av. 51, esquina 12. Torre Gubernamental 1, piso 5to.
Ciudad de La Plata. Provincia de Buenos Aires.
Tel. (0221) 429 – 5341
ediciones.mda@gmail.com
https://www.gba.gob.ar/desarrollo_agrario

Autoridades

GOBERNADOR
Dr. Axel KICILLOF

MINISTRO
Dr. Javier RODRÍGUEZ

Jefe de Gabinete
Lic. Jonatan SÁNCHEZ SOSA
**Subsecretaria de Agricultura,
Ganadería y Pesca**
Lic. Carla SEAIN
**Subsecretario de Desarrollo Agrario
y Calidad Alimentaria**
Lic. Cristian AMARILLA
Subsecretario Técnico, Administrativo y Legal
Abg. Leonardo LAGUNA

Staff Revista

Comité Editorial

PRESIDENTE
Javier Rodríguez
VOCALES
Cristian Amarilla
Carla Seain
Jonatan Sánchez Sosa
Merino Soto Sainz
Javier Cernadas
Pablo Menéndez Portela

Comité Asesor Científico - Técnico

Juan Andrés De Beistegui
Paula Pérez Maté
Carolina Estelrich
Alejandro Giaquinta
Julio Hollmann
Ariel Melín
Matías Bailleres
Maximiliano Pérez
Orlando Boragno
Leandro Pontaroli
Juan Manuel Zeberio
Osvaldo Atela

Equipo Editorial

DIRECTOR
Germán Linzer
EDITOR GENERAL
Ayelen Perrone
EDITORES ASOCIADOS
Merino Soto Sainz
Cristian Amarilla
SECRETARIA EDITORIAL
Rocío Godoy
ASISTENTES EDITORIALES
Mario Migliorati
Gustavo Ciuffo
DISEÑO Y COMUNICACIÓN VISUAL
Jessica Agudo

La Revista MDA es una publicación electrónica trimestral perteneciente al Ministerio de Desarrollo Agrario del Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Presenta una sección destinada a propiciar debates de temas de interés para el desarrollo agrario, con foco en sus aspectos sociales, económicos, políticos y culturales. Publica artículos técnicos y científicos de profesionales que integran las Chacras Experimentales y de otras instituciones que conforman el sistema científico y tecnológico provincial y nacional.

Lo expresado por autores, corresponsales o columnistas no necesariamente reflejan el pensamiento del Comité Editorial, de la revista o de su institución editora.

TEMAS EN DEBATE

EDITORIAL

- 4
Suelos. El principio de todo
 POR DR. JAVIER RODRÍGUEZ

NOTAS

- 7
Los suelos bonaerenses y su cuidado: una política provincial
 POR MANUEL MARTÍN

- 11
La agricultura en tiempos de los microbiomas
 POR LUIS GABRIEL WALL

- 17
La salud del suelo como aspecto central de la sustentabilidad de agroecosistemas
 POR GERVASIO PIÑEIRO, PRISCILA PINTO, PAULA BERENSTECHER, TOMAS DELLA CHIESA Y SEBASTIAN VILLARINO

- 23
Suelos sanos, alimentos sanos
 POR MÓNICA BEATRIZ BARRIOS

- 30
La agricultura se hermana con el manejo del suelo para ser sustentable
 POR ADRIÁN ENRIQUE ANDRIULO

- 38
Suelo y seguridad alimentaria
 POR VIRGINIA APARICIO

ARTÍCULOS TÉCNICOS Y CIENTÍFICOS

- 43
Balance de nutrientes en la agricultura extensiva bonaerense para la campaña 2019/20
 PRESUTTI, M.

- 51
Aportes de carbono en diferentes rotaciones agrícolas en el centro oeste de Buenos Aires
 PEREZ, G.; ESTELRRICH, C.

- 56
Efecto de la enmienda orgánica y flora acompañante sobre el suelo y el rendimiento del tomate*
 CAP, G.; PALADINO, I. R.; SÁNCHEZ, E.; SOKOLOWSKI, A. C.; STRASSERA, M. E.

- 61
Evaluación física y económica de la fertilización con fósforo en experimentos de largo plazo. Resultados de los tres primeros años en maíz, trigo y soja*
 PAGANI, A.; ESTELRRICH, C.

- 69
Balance de P en el cultivo de soja: ¿fertilizar o no fertilizar? esa no es la cuestión
 ANTONIETTA, M.; GIRÓN, P.; MARTINI, G.; MAYDUP, M. L.; MICHELOUD, J.; PAOLINI, M.; GUIAMET, J. J.; SATORRE E.

INFORME TÉCNICO

- 76
La importancia del monitoreo de plagas y enfermedades, y el registro fenológico en horticultura
 GUAYMASÍ, D. V.; D'AMICO, M.

BIOLOGÍA DEL SUELO

La agricultura en tiempos de los microbiomas

El conocimiento que aporta la ciencia interpela sobre la necesidad de cambiar la matriz de producción para lograr sistemas sustentables.

POR **LUIS GABRIEL WALL***
PROFESOR E INVESTIGADOR PRINCIPAL CONICET EN EL CENTRO DE BIOQUÍMICA
Y MICROBIOLOGÍA DEL SUELO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE QUILMES.

Según los indicadores biológicos, la salud del suelo mejora significativamente cuando los manejos agrícolas promueven la diversidad de cultivos, la presencia continua de raíces vivas y las aplicaciones de agroquímicos disminuyen. Esta observación no debería ser solo una anécdota entre un grupo de científicos y productores responsables.

Podríamos decir que la agricultura es el arte de gestionar al menos dos recursos naturales: el suelo y las plantas. La agricultura provee materias primas para diferentes finalidades como alimentos, biocombustibles o fibras textiles. Esta producción agrícola tiene un costo ambiental. En la cosecha de los cultivos existe un proceso necesariamente extractivo de minerales y nutrientes que las plantas obtuvieron del suelo para su desarrollo y que se retiran con el acto de la cosecha. El aprovechamiento de los rastrojos tiende a reponer, biológicamente, algo de lo extraído. Por otra parte, la fertilización química de reposición, en particular con relación al nitrógeno y al fósforo, es una práctica que tiende a restablecer los niveles de fertilidad del suelo y es actualmente una práctica que se promueve enfáticamente desde diferentes instituciones gubernamentales y no gubernamentales. De todos modos, la fertilización química también conlleva costos ambientales. Como mínimo podemos citar que la producción industrial de fertilizantes se realiza en base al uso de energía fósil, recursos no renovables y aumento de la emisión de gases de efecto invernadero. Es imposible eludir las leyes de la termodinámica.

Cuando se gestiona en producción agrícola se toman decisiones sobre la base del conocimiento de los componentes del sistema. La agricultura actual, tanto en nuestro

país como en el resto del mundo, se basa en los conocimientos que tenemos acerca de la estructura y funcionamiento de los suelos y de las plantas desarrollados por la ciencia a lo largo del siglo XX.

Los suelos son explicados fundamentalmente por sus características químicas y físicas, y la biología se describe en general como lo que habita el suelo. En esa concepción pedológica y edafológica actual del suelo, la biología del suelo, incluyendo la macrofauna, la mesofauna y la microbiología, ha sido reconocida como el componente del suelo responsable de la transformación de la materia. Se acepta que los animales de la fauna hacen disponibles los sustratos de restos vegetales, fúngicos o cadavéricos de animales, para su degradación final por parte de los microorganismos. En este esquema, los microorganismos constituyen el factor responsable de esta transformación que genera la materia orgánica del suelo y su fertilidad en términos de nutrientes minerales disponibles para la planta, a partir del proceso de mineralización. El valor de la materia orgánica como característica de la calidad del suelo es ampliamente reconocido, al punto que se han planteado objetivos internacionales de acciones globales tendientes a aumentar la cantidad de carbono en los suelos del planeta, como una estrategia tendiente a mitigar el calentamiento global. El tipo de análisis de calidad de suelo que actualmente se utiliza para tomar decisiones de gestión incluye casi exclusivamente la determinación de características químicas y físicas del suelo. Estos indicadores de calidad de suelo han sido validados con el conocimiento científico desarrollado a lo largo del tiempo por su valor de explicación en los modelos de interpretación de estructura y fun-

cionamiento del suelo mencionados anteriormente. Un excelente ejemplo de normalidad científica dentro del paradigma establecido, en términos de Thomas Kuhn.

Las plantas son organismos fotosintéticos que utilizan la energía del sol para la fijación del carbono del aire (en la forma del dióxido de carbono de la atmósfera) y para construir así su biomasa y desarrollarse. El resto de los elementos que necesita para su crecimiento los toman del suelo. Considerando que existe agua disponible suficiente, los nutrientes más limitantes para el crecimiento de las plantas son el nitrógeno y el fósforo. Estos conceptos surgen de las enseñanzas que nos ha legado la ciencia de la fisiología vegetal desarrollada en el siglo XX, sobre la base de ensayos en hidroponía, estudiando el comportamiento de plantas modelo en condiciones controladas. La fisiología vegetal nos mostró cómo las plantas absorben los nutrientes minerales por las raíces para su posterior asimilación y cómo los mecanismos de control de la transpiración regulan indirectamente el ciclo del agua en el ambiente. Luego nos enseñó el universo de las fitohormonas como reguladores del desarrollo y mecanismos de defensa de las plantas frente al ataque de patógenos: las plantas como individuos. Cultivos y poblaciones vegetales como comunidades de plantas que se relacionan con el suelo a través de sus raíces. Raíces que exploran el suelo en búsqueda de nutrientes. También la fisiología vegetal junto con la microbiología nos enseñó en el siglo XX el valor de la fijación biológica de nitrógeno y el valor de las leguminosas y las actinorrizas en la incorporación del nitrógeno de la atmósfera al suelo.

¿Qué sucedería si la ciencia desarrollara un nuevo conocimiento



que cuestionase todas las certezas descritas en los párrafos anteriores? Si eso sucediera, cabe preguntarse: ¿Qué hacer con esas certezas resquebrajadas en sus bases conceptuales? ¿Cómo seguir gestionando la agricultura a partir de conocimientos incompletos? ¿Cómo intercambiar ideas para configurar una nueva gestión? En cualquier caso, para que las nuevas discusiones resulten fructíferas, se requieren buenos argumentos.

La microbiología es la ciencia que estudia a los microorganismos, las formas de vida que no se ven a simple vista. A veces es difícil respetar lo que no se ve. Hacer visible la microbiología es una obligación ética de la ciencia y de la humanidad pues nuestro planeta está habitado por los microorganismos desde el origen de la vida, hace 3.500 millones de años. Son

habitantes ineludibles del planeta por diversidad y densidad. Todas nuestras discusiones y gestiones de la agricultura sucedieron y suceden en una ínfima fracción del tiempo final en esa escala temporal del desarrollo de la vida en nuestro planeta, en esta Era del Antropoceno que estamos transitando. La microbiología ha estudiado a los microorganismos desde el desarrollo del microscopio (1607) y en particular desde los estudios de Louis Pasteur (1822-1895), quien descubrió la forma de cultivar microorganismos aislados y en estado puro en el laboratorio. El desarrollo de la microbiología durante fines del siglo XIX y el siglo XX generó todo el conocimiento que tenemos sobre los microorganismos: su importancia en los procesos de fermentación y la industria de los alimentos; su importancia en los ciclos de transformación de la materia; su importancia en el ciclo

del nitrógeno; su significado como agentes patógenos de enfermedades; su importancia en la producción de antibióticos que permiten combatir enfermedades de origen bacteriano o fúngico; su importancia como agentes descontaminantes del ambiente; su valor como organismos probióticos generadores de salud; y más recientemente su importancia central en el desarrollo de la biotecnología. Hacia finales del siglo XX, el aislamiento y estudio de microorganismos aislados de las rizósferas y raíces de las plantas generó un gabinete de curiosidades microbiológicas lleno de funciones probióticas para las plantas. Estos aislamientos microbianos dieron origen al concepto de bioinsumos, biofertilizantes y biocontroladores. La microbiología ampliando la variedad de insumos que se gestionan en la agricultura.

Continuemos describiendo algo



más de la historia de esta ciencia. La microbiología se desarrollaba a pleno, en sus principios y conceptos, hasta que en 1985 una publicación en el *Annual Review of Microbiology* reflató el concepto de la anomalía del recuento en placa (originalmente descrito en un trabajo de 1932). Esta publicación mostró, de forma contundente, que en el ambiente existen muchos más microorganismos que los que se conocían hasta ese momento. Microorganismos que habían resultado invisibles a los métodos de cultivo en placa desarrollados durante todo el siglo XX a partir de los principios de Louis Pasteur. Según esa publicación, por comparación de dos métodos independientes de conteo de microorganismos en muestras ambientales (agua y suelo), se llegó a la conclusión de que la microbiología cultivable representa un 1% de la microbiología existente.

De golpe y de buenas a primeras, la ciencia desconoció al 99% de los microorganismos existentes. Apareció el concepto de microbiología no cultivable y el desafío de conocer a esa otra microbiología, su diversidad, su geografía, su significado.

La solución a este desafío surgió en el siglo XXI de la mano de técnicas de biología molecular de secuenciación de ADN y la conjunción con la nanotecnología y la bioinformática, que permitieron desarrollar métodos de secuenciación masiva del ADN obtenido directamente del ambiente, del ADN del suelo y del ADN del agua, sin necesidad de aislar primero a los microorganismos que contienen estos ADN. La posibilidad de identificar en forma simultánea las secuencias obtenidas del ADN ambiental, darles identidad biológica y organizarlas taxonó-

micamente permitió acceder a la diversidad microbiológica ambiental y comenzar a comprender su significado en los ecosistemas. El acceso a las nuevas descripciones de las comunidades de bacterias, arqueas, hongos, protistas y virus -la microbiota del ambiente-, y la comprensión de los factores que modifican su estructura, condujo al concepto de microbioma¹ que cambia completamente el escenario de análisis y la mesa de datos sobre la cual se gestiona la agricultura.

El microbioma del suelo se modifica por factores ambientales como el pH, la calidad y cantidad de carbono orgánico, la humedad, la disponibilidad de nitrógeno y fósforo, la textura del suelo, la temperatura, las especies y diversidad de plantas y los predadores de microbios¹. En un trabajo realizado por un consorcio público-privado

en un proyecto de áreas estratégicas (PAE36976), auspiciado por el FONCyT (Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación) entre los años 2006 y 2013, pudimos mostrar, entre varias otras cosas, que el monocultivo de soja disminuye la diversidad bacteriana regional en los microbiomas de los suelos de la pampa húmeda, haciendo desaparecer los componentes bacterianos característicos de cada región². En trabajos más recientes hemos visto cómo los microbiomas del suelo se modifican por la diversidad de cultivos y la intensificación de las rotaciones, aumentando la diversidad de los mismos, mejorando la estructura física del suelo, la captura de carbono e incluso el rendimiento³. Además de ser responsable de la transformación de la materia, las comunidades bacterianas y fúngicas del suelo son los determinantes de la agregación de las partículas del suelo⁴. Esta construcción de la estructura física edáfica se consolida luego por todas las interacciones tróficas que ocurren en el suelo⁵. La explicación de la agregación de las partículas del suelo se encuentra en las sustancias poliméricas extracelulares que producen los microorganismos del suelo⁶, constituyendo la matriz de la materia orgánica asociada a las partículas minerales del suelo, que posee un 50% de origen vegetal por rizodeposición y otro tanto por material microbiano necrótico^{7,8}. Más recientemente se ha descrito que, además de la diversidad de las comunidades microbianas, el nivel de interacciones entre los componentes del microbioma del suelo determina la estabilidad del sistema, que se expresa como biofertilidad del suelo y resiliencia del mismo^{9,10}.

La complejidad del microbioma del suelo se traslada a las plantas, generando un microbioma de

mayor densidad en la zona del suelo que rodea las raíces, donde la rizodeposición y los exudados radiculares sostienen una diversidad microbiana particular por el denominado efecto rizosférico que aumenta la densidad microbiana asociada a las raíces en un factor de 100 veces superior al existente en el suelo. El microbioma de las rizósfera de las plantas¹¹ fue descrito por primera vez en el año 2012 junto con el concepto de microbioma endofítico de las plantas. Luego fue descrito el microbioma epifítico (aéreo). Es decir, las plantas viven asociadas a un microbioma propio, que varía según la especie, el cultivar y el estado de desarrollo de la planta. La variación no ocurre al azar, sino que sigue una lógica funcional en la cual el microbioma de la planta desarrolla actividades biológicas que determinan un mejor desarrollo y ajuste de la planta al ambiente. Como consecuencia de todos estos descubrimientos se ha planteado, a la luz del nuevo concepto de los microbiomas, que las plantas son verdaderos holobiontes, es decir sistemas simbióticos complejos¹². En este concepto de las plantas como holobiontes, su asociación con microorganismos fijadores de nitrógeno o movilizadores de fósforo (cuyo aislamiento en los laboratorios dio origen a los biofertilizantes) no son asociaciones casuales sino integrales de la fisiología vegetal.

Corresponde hacer una mención especial a la asociación simbiótica de las plantas con los hongos micorrízicos. Esta simbiosis es constitutiva en más del 90% de las especies vegetales conocidas, incluidas las especies de los cultivos agrícolas (salvo las crucíferas). Las micorrizas en las plantas contribuyen a aumentar su nutrición fosforada, su acceso al agua del suelo y también sostienen su nu-

trición nitrogenada incorporando nitrógeno orgánico como nutriente primario¹³. Como si esto fuera poco, en las últimas décadas se consolidaron los resultados experimentales que demuestran y sostiene la existencia de la conexión entre plantas de una comunidad vegetal a través de las redes micorrízicas. Estas redes de conexión constituyen verdaderas redes sociales a través de las cuales las plantas de la comunidad distribuyen nutrientes y señales de alarma frente al ataque de patógenos disparando los mecanismos de defensa naturales de las plantas¹⁴.

¿Sería posible que ocurra esto en un cultivo? Los manejos de agricultura siempre verde y el uso de cultivos de servicio en siembra directa plantean la existencia de condiciones básicas para que ello ocurra. La agroecología debería buscar la manera de evitar la labranza y tiene todo para que esto suceda.

Para entender el nivel de conflicto que presenta la matriz actual de producción agrícola, frente a un modelo de producción que incorpora a la biología de suelo como parte del proceso, es necesario señalar algunas interferencias:

- Altos niveles de nutrientes minerales disponibles en el suelo, por agregado de fertilizantes, modifican el microbioma del suelo y de la planta, constituyendo microbiomas diferentes a los que existen en sistemas prístinos.
- Altos niveles de fósforo disponible inhiben la formación de las micorrizas, es decir, la asociación de las raíces de las plantas con los hongos del suelo benéficos para la planta.
- Altos niveles de nitrógeno disponible inhiben la fijación biológica

de nitrógeno, ya sea la nodulación de las leguminosas o el funcionamiento de los nódulos, además de inhibir dicha actividad en las bacterias fijadoras de nitrógeno endófitas de las plantas.

→ Los fungicidas presentes en los curasemilla o agregados al cultivo, además de antagonizar con potenciales hongos patógenos, inhiben el desarrollo de micorrizas y modifican la composición fúngica inicial de la rizósfera de la planta.

→ Los herbicidas, como el glifosato, modifican la estructura del microbioma del suelo y, según se ha demostrado recientemente, disminuyen los niveles de bacterias benéficas para las plantas.

→ Los plaguicidas y agroquímicos en general tienen efectos tóxicos y adversos sobre componentes de la meso y macrofauna, diferentes a los agentes patógenos o plaga blanco a los cuales van dirigidos esos agroquímicos. Esta acción tóxica sobre la fauna disminuye las interacciones tróficas en el suelo determinando la pérdida de estructura física del mismo.

→ La tendencia al monocultivo en las rotaciones disminuye la diversidad microbiológica de los suelos, favoreciendo la selección de microorganismos patógenos. Si el aumento de densidad de patógenos se manifiesta en enfermedad, la aplicación del agroquímico correspondiente resolverá el problema en el corto plazo, pero agregando todos los efectos colaterales mencionados.

→ El uso continuo de agroquímicos actúa como presión de selección en el microbioma del suelo modificándolo.

Es evidente que el saber ac-

tual sobre la biología del suelo y la biología de las plantas genera una serie de conflictos con las prácticas agrícolas regulares en la gestión actual de la agricultura de insumos. Es cierto que la agricultura de insumos funciona correctamente en términos de productividad y en la búsqueda de disminuir la brecha de producción potencial. Por supuesto es un muy buen negocio y una actividad generadora de divisas para el país. Pero esta matriz productiva constituye una mirada cortoplacista que atiende más a los intereses de un pequeño sector de la población, y del corto plazo para el país, que al bien común en cuanto a la preservación del ambiente y la calidad de vida. Considerando correcta la adopción de la siembra directa y aceptando el éxito económico de una agricultura de insumos y base biotecnológica de los últimos 25 años, no se puede ignorar el elevado costo ambiental que esa matriz de producción ha generado. Esto ha llevado aceleradamente a la pérdida de estructura física y biofertilidad de los suelos, al desarrollo de resistencia en plagas y malezas. Frente a estos problemas, la agricultura de insumos no ha logrado salir de su encierro conceptual y no brinda respuestas inteligentes en términos de sustentabilidad o de preservación del recurso suelo (se ha llegado a promocionar un producto agroquímico como algo que el productor puede usar para producir limpio y vivir tranquilo “porque no deja nada vivo en el suelo...”). Sin embargo, desde el trabajo conjunto de un grupo de científicos y algunos productores agrícolas responsables, y a pesar de un Estado que ha sido inconsistente en su presencia, se puede decir que existe un camino de resolución del conflicto que, además, se puede monitorear. Volviendo al comienzo de la nota, los

indicadores biológicos del suelo mejoran cuando los manejos agrícolas promueven la intensificación de las rotaciones y la diversidad de cultivos, la presencia continua de raíces vivas y la disminución o racionalización de las aplicaciones de agroquímicos. Esto no puede quedar en una anécdota y ser un asunto de científicos y productores responsables. El Estado debe tomar nota de estos conocimientos -que en gran parte se desarrollan con dineros públicos- y sumarse con fuertes políticas públicas que sostengan el desarrollo de este camino de cambio en la matriz de producción y desarrollo agrario. Solo se respeta lo que se conoce, por eso resulta imprescindible hacer saber.

Referencias

*Fotos gentileza del autor.

- ¹ Fierer (2017) *Nature Review Microbiology*, 15, 579-590.
- ² Figuerola et al. (2015) *Environmental Microbiology*, 17, 678-688.
- ³ Wall et al. (2020) *Informe final Proyecto Chacra Pergamino, Aapresid*.
- ⁴ Lehman et al. (2017) *Nature Ecology & Evolution* 1, 1828-1835.
- ⁵ Erktan et al. (2020) *Soil Biology and Biochemistry* 148, 107876.
- ⁶ Costa et al. (2018) *Frontiers in Microbiology* 9, 1636.
- ⁷ Ljang et al. (2020) *Soil Biology and Biochemistry* 150, 108000.
- ⁸ Villarino et al. (2021) *Science Advances* 7 eabd3176.
- ⁹ Lupatini et al. (2014) *Frontiers in Environmental Science* 2, 10.
- ¹⁰ Fan et al. (2020) *The ISME Journal* DOI:10.1038/s41396-020-00796-8.
- ¹¹ Lundberg et al. (2012) *Nature* 488, 86-90.
- ¹² Vanderkoornhuysen et al. (2015) *New Phytologist* 206: 1196-1206.
- ¹³ Daly et al. (2021) *Biogeochemistry* DOI:10.1007/s10533-021-00793-9.
- ¹⁴ Song et al. (2014) *Scientific Reports* 4, 3915.

Bibliografía

- KUHN, T. 1962. *La estructura de las revoluciones científicas. (s.l): Fondo de Cultura Económica.*
- WALL, L. G. 2020. *Historias del inframundo biológico. Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores.*