



¿INCONVENIENTES POR PARTIDA DOBLE? LOS EFECTOS DE LA SEQUÍA Y LA FERTILIZACIÓN SOBRE LA VIDA EN EL SUELO

Marie Sünemann^{1,2}, Julia Siebert^{1,2}, Nico Eisenhauer^{1,2}

¹ Centro Alemán para la Investigación Integrativa de la Biodiversidad/ German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Alemania

² Institute of Biology, Leipzig University, Leipzig, Germany

YOUNG REVIEWER:



JEDIHA

EDAD: 14

Durante un par de siglos los humanos han estado cambiando la Tierra debido a su modo de vida. Nuestras acciones no solo están causando un cambio climático con largos períodos de sequía, sino también una acumulación de nutrientes, debido a la quema de combustibles fósiles y a la fertilización de los suelos agrícolas. Ambos factores (la sequía y la fertilización) amenazan al mundo que existe debajo de nuestros pies: el suelo. Los suelos pueden parecer un tanto aburridos e inertes, pero en realidad son el hogar de muchos organismos, desde minúsculas bacterias hasta ágiles milpiés y lombrices pegajosas. Todos estos organismos contribuyen a los procesos indispensables para mantener la vida en la Tierra. Por ejemplo, promueven la descomposición de residuos vegetales, lo que asegura que los suelos donde producimos nuestros alimentos se mantengan fértiles. Como la mayoría de los organismos del suelo son sensibles a los cambios

en el ambiente, nos preguntamos ¿qué ocurre si la sequía y la fertilización se dan al mismo tiempo?

LAS ACTIVIDADES HUMANAS CAMBIAN LOS ECOSISTEMAS

Por 200 años, las actividades humanas han cambiado tremendamente al mundo. El cambio climático inducido por los humanos está haciendo que el planeta se caliente y que existan períodos más largos de sequía (largos períodos de tiempo con poca lluvia) en algunas regiones. Al mismo tiempo, la agricultura en campos y praderas ha cambiado dramáticamente en décadas recientes. La población mundial está creciendo incesantemente, y toda esa gente necesita alimentarse. Entonces, se aplican grandes cantidades de fertilizantes en los campos agrícolas para obtener mayores cosechas en los cultivos [1]. A pesar de que la fertilización puede proveer suficiente alimento para varios billones de personas, trae consigo una desventaja significativa: al igual que la sequía, el exceso de fertilizantes afecta no solo a las plantas que se ven sobre el suelo, sino también al complejo **ecosistema** que existe debajo— el suelo y los organismos que viven en él.

LA IMPORTANCIA DEL SUELO COMO ECOSISTEMA

Los suelos son una parte importante de los ecosistemas terrestres. Aunque a menudo los ignoramos, los suelos están repletos de seres vivos. Estos incluyen a los microorganismos, como las bacterias y los hongos, que son tan minúsculos que son invisibles a los ojos. Pero lo que les falta en tamaño, lo compensan con la cantidad: en tan solo una cucharadita de tierra puede haber varios millones de microorganismos. Muchos animales del suelo, como los ácaros y los colémbolos, son un poco más grandes pero aun así pueden verse solo con lupas. Entre los animales aún más grandes del suelo se encuentran las cochinillas, los ciempiés y las lombrices de tierra. Todos estos animales más o menos grandes del suelo comparten el hecho de que no tienen columna vertebral, por eso se les llama **invertebrados**. Todos estos seres vivos habitan juntos el suelo e interaccionan de varias formas: mientras que algunos se alimentan de otros organismos, hay otros que trabajan juntos en cooperación.

Los invertebrados del suelo llevan a cabo numerosas funciones que son necesarias para nuestra existencia. Una de las **funciones ecosistémicas** más importantes es la **descomposición**, que requiere la cooperación de una multitud de organismos. Los organismos del suelo son responsables de descomponer los residuos vegetales. Las hojas marchitas, las raíces muertas y las semillas son sus principales fuentes de alimento. Los organismos rompen este material vegetal muerto en partes o pedazos más pequeños. Esos productos pequeños serán un excelente alimento a su vez para los microorganismos del suelo, como las bacterias y los hongos. Eventualmente, esos productos serán convertidos a formas que las plantas pueden usar para su crecimiento, es decir CO₂ (dióxido de carbono) y nutrientes.

ECOSISTEMA

Comunidad de plantas, bacterias, animales y hongos en un lugar determinado, junto con los componentes no vivos de ese entorno.

INVERTEBRADOS

Animales que carecen de una columna vertebral. Ejemplos son el ciempiés, las cochinillas o las lombrices.

FUNCIONES DEL ECOSISTEMA

Procesos naturales que ocurren en un ecosistema.

DESCOMPOSICIÓN

Tras la muerte, los organismos se descomponen en trozos cada vez más pequeños. Esto libera nutrientes, que a su vez son necesarios para el crecimiento de las plantas.

Figura 1

En la mitad de las parcelas experimentales de nuestro estudio, utilizamos techos para simular una sequía. La otra mitad de las parcelas recibieron techos "falsos" con paneles de lluvia colocados al revés para tener en cuenta los posibles efectos secundarios de estas estructuras (como serían cambios en la velocidad del viento y/o luz).

© Julia Siebert



Figura 1

VALOR DE PH

Escala que indica si una solución tiene carácter ácido o básico (alcalino). Cuanto más bajo es el valor, más ácida es la solución.

Todos los organismos del suelo, al igual que cualquier ser vivo en la tierra, dependen del agua para nutrirse y respirar e incluso para transportarse. Por eso, los períodos de sequía cada vez más frecuentes y extensos son un problema para muchos organismos pequeños. Y aún peor, ¿Qué pasaría si otros factores nocivos ocurren al mismo tiempo? El uso excesivo de fertilizantes, por ejemplo, puede ser dañino, porque cambia el **valor de pH** del suelo y lo hace más ácido. Muchos organismos del suelo no pueden tolerar condiciones ácidas en el suelo. ¿Podría entonces la fertilización agregar un factor más de estrés, haciendo aún más difícil que los organismos resistan las condiciones secas del suelo? ¿Cómo podemos saber exactamente si la sequía y la fertilización son dañinas para los organismos del suelo y si interfieren en sus funciones?

¿CÓMO ESTUDIAMOS A LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO?

Para entender los efectos de la sequía y de la fertilización sobre los organismos del suelo, comenzamos un experimento que simula esos dos factores [2]. Seleccionamos una pradera en Alemania Central donde a su vez seleccionamos pequeñas áreas llamadas parcelas experimentales, que fueron manejadas de diferentes formas. En un cuarto de las parcelas experimentales (1/4, 25%) se simuló la sequía usando techos (Figura 1), otro cuarto de las parcelas recibió fertilizante, y otro cuarto de las parcelas recibió una combinación de sequía y fertilizante. El último cuarto de las parcelas no fue tratado con nada y, entonces, fue la parcela control. Las parcelas control son importantes porque permiten comparar a los tratamientos con las condiciones normales.

Para comprender cómo la sequía y la fertilización afecta a los organismos del suelo, buscamos a los microorganismos y a los invertebrados del suelo de forma separada. Por un lado, examinamos la actividad de los invertebrados en cada parcela, y para hacerlo, utilizamos tiras angostas de plástico, con varios agujeros pequeños. Cada agujero se relleno con una mezcla de cebo que a los

invertebrados les guste comer – imaginen que le damos cereales para invertebrados. Enterramos algunas tiras con cebo al suelo de nuestras parcelas experimentales (Figura 2). Luego de 3 semanas, observamos la cantidad de cebo que había sido consumido por los animales del suelo. Los ecologistas de suelo utilizan este método a menudo para analizar cuánto consumen los invertebrados, lo cuál es un buen indicador de su actividad en general.

Figura 2

Para determinar la actividad de los invertebrados del suelo en nuestras parcelas experimentales, utilizamos tiras de láminas de cebo. Las tiras se introdujeron completamente en el suelo para que los invertebrados en el suelo se alimenten de ellas. Al cabo de 3 semanas, comprobamos cuántos de los agujeritos que contenían el cebo estaban llenos, vacíos o semi-vacíos. Cuanto más activos y hambrientos están los invertebrados más cantidad de cebo se comen.

© Gottschall/Siebert

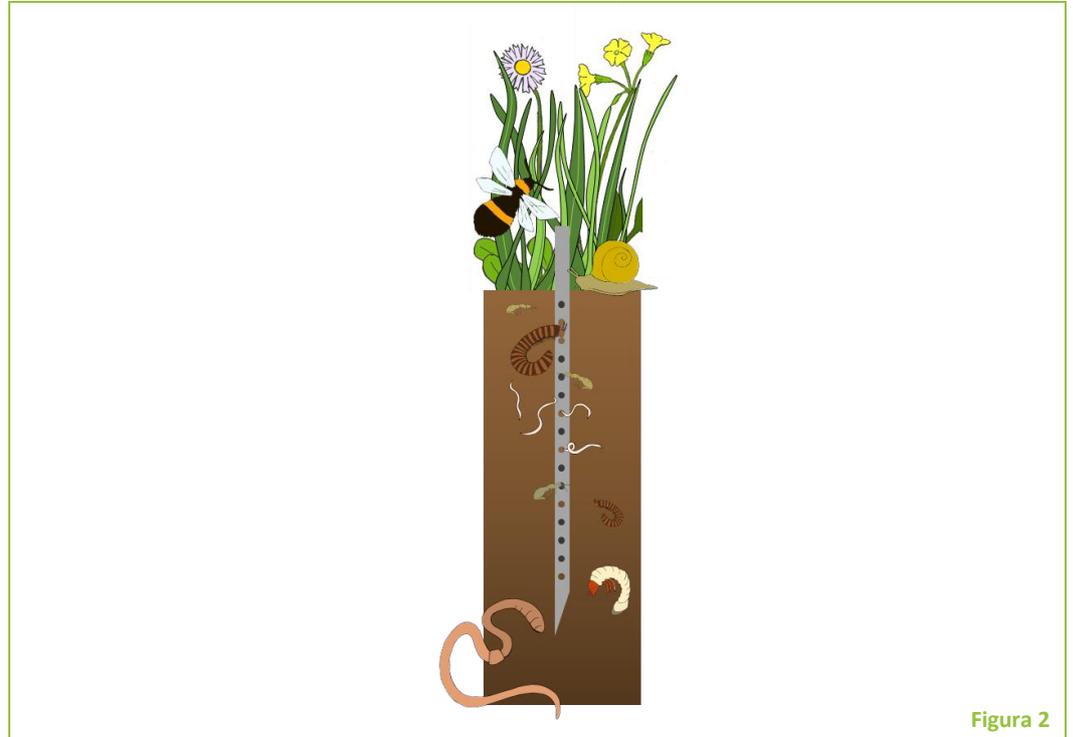


Figura 2

Para examinar a los microorganismos del suelo tomamos pequeñas porciones de tierra de cada una de las 4 parcelas y las llevamos al laboratorio. Allí determinamos la actividad microbiana en esas muestras midiendo la respiración. Al igual que los humanos, los organismos del suelo respiran oxígeno (O_2) y exhalan dióxido de carbono (CO_2). Entonces, cuanto más respiración esté ocurriendo en una muestra, más activos estarán los microorganismos en esa muestra (piensen en ustedes mismos cuando hacen ejercicio). Para medir la respiración microbiana, utilizamos un dispositivo con un sensor especial que mide la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos, y estos datos se almacenan en una computadora. Al conocer la actividad de los microorganismos del suelo, entonces pudimos calcular la **biomasa**, que es la cantidad de todos los microorganismos que viven en una porción definida de tierra, por ejemplo, en una cucharadita de suelo.

BIOMASA

Medida de la cantidad de todos los microorganismos que viven en una cantidad definida de suelo.

LA SEQUÍA Y LA FERTILIZACIÓN PUEDEN AFECTAR A LOS INVERTEBRADOS EN EL SUELO

Utilizamos pruebas estadísticas en nuestros datos para averiguar cómo las comunidades de microorganismos e invertebrados del suelo reaccionaron a los tratamientos de sequía y fertilización. Descubrimos que tanto la sequía como la fertilización alteraron considerablemente la actividad de los invertebrados del suelo. Aunque los factores por sí solos tuvieron fuertes efectos negativos, su combinación no redujo más la actividad de los invertebrados (Figura 3A). Los

microorganismos del suelo, sin embargo, reaccionaron de forma completamente diferente. La sequía no les causó ningún efecto negativo y la fertilización incluso aumentó la biomasa microbiana (Figura 3B).

Figura 3

¿Qué hemos encontrado?

Los tratamientos del experimento eran: I) control en café, II) sequía en amarillo, III) fertilización en verde y IV) sequía y fertilización en verde y amarillo. En la imagen A se ve la actividad de alimentación de los invertebrados para los cuatro tratamientos.

La imagen B muestra la biomasa microbiana para los mismos tratamientos.

(A) La sequía, la fertilización y ambas juntas redujeron fuertemente la alimentación de los invertebrados del suelo.

(B) Los microorganismos del suelo no se vieron alterados por el tratamiento de la sequía. La fertilización provocó un aumento de la biomasa microbiana en el suelo.

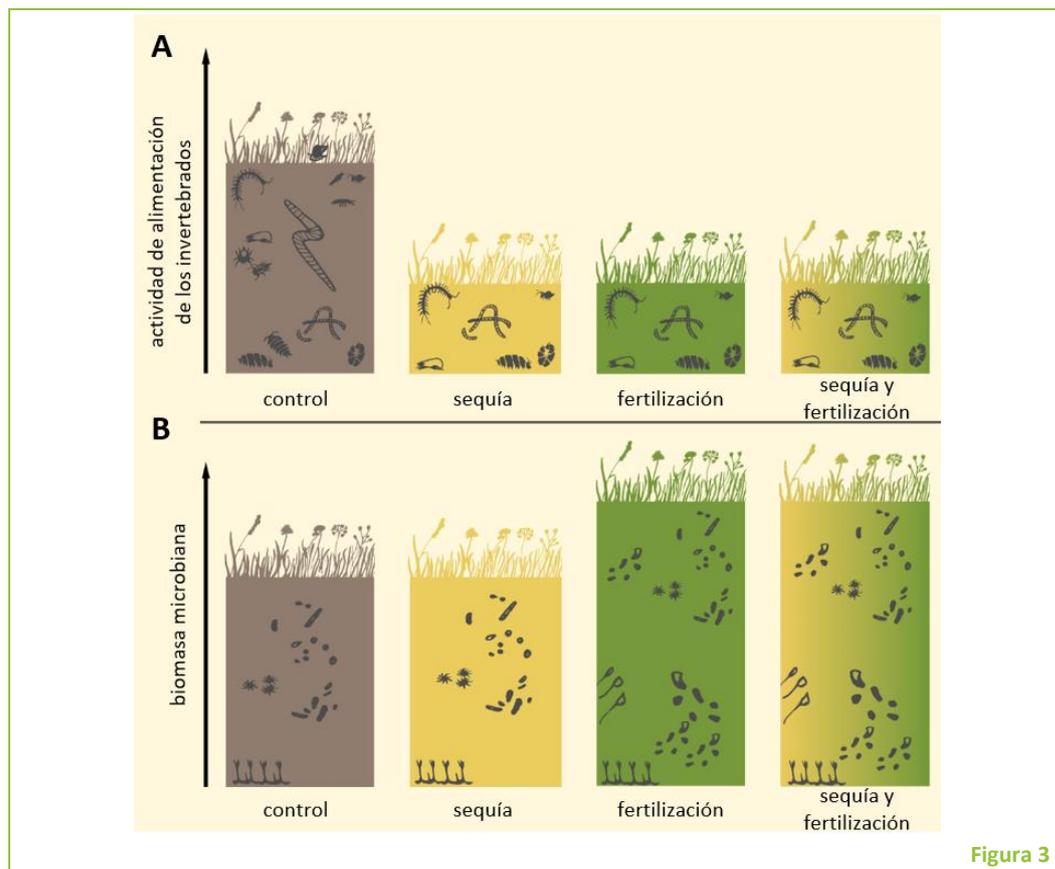


Figura 3

¿Por qué la sequía y la fertilización perjudican a los invertebrados mucho más que a los microorganismos? Por lo general, ambos grupos dependen en gran medida de la humedad del suelo y les resulta difícil lidiar con las sequías. Entre otras cosas, sus alimentos se vuelven tan secos que tienen dificultades para digerirlos [3]. Imaginen ustedes comer todo el día tostadas viejas sin mermelada y sin beber nada. Para evitar condiciones de sequía, los invertebrados pueden desplazarse a capas de suelo más profundas y húmedas, a las que no llegamos con nuestras pruebas. Sin embargo, ¿por qué la fertilización disminuyó también su actividad? La razón es que la fertilización conduce a una acidificación de los suelos, lo que significa que el valor del pH cae por debajo de cinco. A las lombrices y a otros invertebrados del suelo no les gusta vivir en condiciones de pH bajo (ácido), ya que puede ser perjudicial para su delicada piel. Un limón, por ejemplo, tiene un valor de pH de 2. Sería como si te cayera jugo de limón en una herida que te hayas hecho accidentalmente en un dedo ¿te ha pasado? No es nada agradable.

El tratamiento con sequía no afectó a los microorganismos del suelo. Esto nos sorprendió, ya que nuestro tratamiento de sequía redujo la cantidad de lluvia de un año a la mitad, lo que resultó naturalmente en suelos extremadamente secos. Sin embargo, creemos que es posible que las bacterias y los hongos que normalmente viven en la capa superior del suelo están constantemente expuestos a los ciclos de temperatura y humedad de las cuatro estaciones climatológicas. Por ello, deben ser capaces de sobrevivir incluso períodos más

secos [4]. Una de las formas en la que lo consiguen es produciendo una capa protectora de azúcares que impide que sus superficies se sequen. O se pueden transformar a formas muy resistentes que les permite sobrevivir, llamadas esporas. Las esporas están en estado inactivo y latente, y pueden sobrevivir al calor extremo y a la sequía hasta por 1000 años. Debido a estas razones, creemos que las condiciones de sequía de nuestro experimento apenas perjudicaron a los microorganismos del suelo. Pero también es posible que nuestro experimento haya sido demasiado corto para poder ver algún efecto negativo relacionado con la sequía.

Por otro lado, la fertilización fue incluso beneficiosa para los microorganismos. Esto se debe a que los nutrientes del fertilizante promovieron el crecimiento de las plantas. Las plantas no sólo respondieron con brotes más largos, flores más grandes y muchas más hojas, sino que también liberaron más materiales al suelo a través de sus raíces, y los microorganismos pudieron alimentarse de todas estas fuentes de alimento extra.

Nos alegró comprobar que la sequía y la fertilización no se reforzaban mutuamente en sus efectos, lo que significa que ambos factores juntos no parecen hacer más daño que el que hacen por separado. Esto puede significar que los ecosistemas disponen de fuertes mecanismos de defensa contra factores ambientales que causan estrés. Pero, en este estudio sólo medimos la actividad de los organismos del suelo al final de un año. Deberíamos examinar los suelos después de muchos años de sequía y fertilización, para ver si los resultados siguen siendo los mismos.

¿QUÉ LE ESPERA EN EL FUTURO A NUESTROS SUELOS?

Resumiendo, los invertebrados del suelo parecen estar mucho menos preparados que los microorganismos para afrontar futuros cambios ambientales y climáticos. ¿Qué significa esto para nuestros suelos en el futuro? Una disminución en la actividad de los organismos del suelo tiene varias consecuencias para los ecosistemas y, por tanto, para los seres humanos. Como ya hemos aprendido, todos los organismos del suelo son necesarios para mantener el proceso de descomposición funcionando. El proceso de descomposición se divide en varias etapas que son indispensables unas para otras. Mientras que los invertebrados se encargan principalmente de descomponer los trozos más grandes de animales y plantas muertos, los microorganismos digieren los trozos más pequeños en el siguiente paso y liberan una serie de nutrientes. Juntos, los organismos del suelo forman una gran comunidad o cadena alimenticia, en la que cada especie tiene su rol específico, cumpliendo tareas específicas. Sin embargo, si falta un elemento de esta cadena, es probable que todo el sistema pierda su equilibrio [5]. A largo plazo, esto podría significar que los suelos podrían perder su fertilidad. El resultado sería que no sólo los pastos, sino también el trigo y el maíz en nuestros campos dejarían de crecer de forma abundante y eventualmente acabaríamos teniendo problemas para alimentar a todas las personas del planeta Tierra. Por lo tanto, dependemos del bienestar de todos los seres vivos del suelo y debemos tener en cuenta su importancia a la hora de tomar decisiones futuras que puedan afectar a nuestros suelos.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al personal de la Estación de Investigación Experimental de Bad Lauchstädt por su ayuda en el mantenimiento del sitio experimental, y a Alla Kavtea, Tom Künne y Ulrich Pruschitzki por su apoyo en el trabajo de laboratorio y de campo. Además, agradecemos a la coordinación del Experimento Internacional Drought-Net por proporcionar protocolos y apoyo. Agradecemos la ayuda editorial de Susan Debad. El apoyo financiero fue otorgado por el Centro Alemán para la Investigación Integrativa de la Biodiversidad Halle-Jena-Leipzig (iDIV), financiado por la Fundación Alemana de Investigación (DFG, FZT 118).

ARTÍCULO ORIGINAL

Siebert, J., Sünnemann, M., Auge, H., Berger, S., Cesarz, S., Ciobanu, M., et al. 2019. The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons. *Sci. Rep.* 9:639. doi: 10.1038/s41598-018-36777-3

REFERENCIAS

- [1] Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., et al. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320:889–92. doi: 10.1126/science.1136674
- [2] Siebert, J., Sünnemann, M., Auge, H., Berger, S., Cesarz, S., Ciobanu, M., et al. 2019. The effects of drought and nutrient addition on soil organisms vary across taxonomic groups, but are constant across seasons. *Sci. Rep.* 9:639. doi: 10.1038/s41598-018-36777-3
- [3] Thakur, M. P., Reich, P. B., Hobbie, S. E., Stefanski, A., Rich, R., Rice, K. E., et al. 2018. Reduced feeding activity of soil detritivores under warmer and drier conditions. *Nat. Clim. Change* 8:75–8. doi: 10.1038/s41558-017-0032-6
- [4] Tonkin, J. D., Bogan, M. T., Bonada, N., Rios-Touma, B., and Lytle, D. A. 2017. Seasonality and predictability shape temporal species diversity. *Ecology* 98:1201–16. doi: 10.1002/ecy.1761
- [5] Simpson, J. E., Slade, E., Riutta, T., and Taylor, M. E. 2012. Factors affecting soil fauna feeding activity in a fragmented lowland temperate deciduous woodland. *PLoS ONE* 7:e29616. doi: 10.1371/journal.pone.0029616

EDITED BY: Helen Phillips, German Centre for Integrative Biodiversity Research (iDiv), Germany

CITATION: Sünnemann M, Siebert J and Eisenhauer N (2020) Double Whammy for Life in Soil? The Effects of Drought and Fertilizer Use. *Front. Young Minds.* 8:547630. doi: 10.3389/frym.2020.547630

CONFLICTO DE INTERESES: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

COPYRIGHT © 2020 Sünnemann, Siebert and Eisenhauer. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

YOUNG REVIEWER



JEDIDIAH, EDAD: 14

Jedidiah is interested in science and math, particularly in how the environment impacts his daily life. He spends time working in the family garden, making money by selling eggs and vegetables he helps produce. In his spare time, Jed likes to play baseball and play video games.

AUTORES

MARIE SÜNNEMANN

Cuando tenía seis años, su mejor amigo la desafió a comerse una lombriz. Aunque hoy ya no lo haría, su curiosidad por todo lo que se arrastra encima de la tierra nunca ha disminuido. Hoy, como estudiante de doctorado, estudia las reacciones de los organismos del suelo al cambio climático en pastizales y campos agrícolas. En su tiempo libre, practica deportes de combate y disfruta estar al aire libre.

JULIA SIEBERT

A Julia le fascina la naturaleza desde que era niña. Pasaba todo el tiempo que podía al aire libre, construía casas de musgo en el bosque y buscaba todo tipo de animales. Siguió esta pasión estudiando biología y ciencias de la comunicación, y siempre se interesó por encontrar formas de transferir conocimientos a diferentes públicos. Sus estudios científicos se centran en cómo los cambios en el clima afectan a los organismos del suelo y a las funciones del ecosistema que los organismos impulsan. Además, explora formas de involucrar a estudiantes en la ciencia de la biodiversidad. En su tiempo libre, le gusta montar a caballo, viajar, avistar aves, montar en bicicleta de montaña y practicar todo tipo de deportes al aire libre.



**NICO EISENHAUER**

Nico se ha interesado por la naturaleza desde su más tierna infancia. Excavó en búsqueda de lombrices, atrapó ranas y peces, y ayudó a las lagartijas a sobrevivir en los meses de invierno. Siempre le ha fascinado la belleza de la naturaleza y le ha movido la pregunta de por qué una determinada especie vegetal o animal vive en un lugar, pero no en otro. Durante sus estudios de biología, descubrió su interés por los animales del suelo y sus importantes actividades, cruciales para el funcionamiento de los ecosistemas. Cuando no está trabajando, a Nico le gusta jugar al fútbol y al bádminton, correr y pasar tiempo con su familia y amigos.

TRADUCTORES**SIMONE KILIAN SALAS**

Simone es una estudiante de doctorado alemana-ecuatoriana, que prefiere trabajar con tierra y suelo, que con algún tipo de criaturas que se podrían mover o escaparse. Cuando no está trabajando, está durmiendo y comiendo, o tomándose una pausa de la civilización que pulsa a alta velocidad.

ORCID iD: 0000-0002-6401-8598

MARÍA A. MOREL REVETRIA

A María le han gustado las plantas desde que tiene memoria. Por eso, decidió estudiar algo que tuviera que ver con plantas en la Universidad. Durante sus estudios de Biología, descubrió su interés por la Microbiología, y desde entonces, ha trabajado con plantas y bacterias sin parar. Sus principales intereses son las bacterias del suelo y su relación con la productividad vegetal y la calidad del suelo. Además, está interesada en promover la democratización científica. Es miembro de ComicBacterias, proyecto de divulgación de la Microbiología. El turismo en familia es una de sus aficiones favoritas.

ORCID iD: 0000-0002-9064-5675