

¿CÓMO SE DEFIENDEN LAS PLANTAS DE LOS ORGANISMOS QUE COMEN RAÍCES?

Axel J. Touw^{1, 2*}, Nicole M. van Dam^{1, 2}

¹Molecular Interaction Ecology, German Center for Integrative Biodiversity Research (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Leipzig, Germany

²Institute of Biodiversity, Friedrich Schiller University Jena, Jena, Germany

JÓVENES REVISORES:



AVANI

EDAD: 10



CATHERINE

EDAD: 15



HARRISON

EDAD: 11

El mundo subterráneo está repleto de organismos que dependen de las plantas para alimentarse. Los consumidores de plantas (o herbívoros) que viven bajo la tierra se alimentan de las raíces, y les pueden causar severos daños al vegetal del que se alimentan. Las raíces son muy importantes porque ayudan a las plantas a absorber agua y nutrientes desde el suelo. El agua y los nutrientes son recursos importantes que las plantas necesitan para crecer. Para proteger a sus raíces, las plantas producen defensas químicas. La producción de estas defensas es costosa porque los nutrientes y la energía que se utilizan para producirlas no se pueden utilizar para el crecimiento o para la producción de flores y semillas. Por eso, las plantas deben ser eficientes en la producción de defensas. Los científicos estamos interesados en comprender cómo las plantas se defienden de manera eficaz, porque esto puede ayudarnos a desarrollar estrategias eco-amigables para cultivar frutas y verduras. En este artículo te explicamos cómo

las plantas se defienden eficientemente y cómo las defensas vegetales afectan a los herbívoros del suelo.

Figura 1

Ejemplos de herbívoros que habitan sobre o debajo del suelo. (A) pulgón del repollo; (B) oruga de la gardama (o gusano soldado); (C) nemátodo alimentándose de una planta; and (D) larva de la mosca de la col (Crédito por las fotos: Axel Touw)

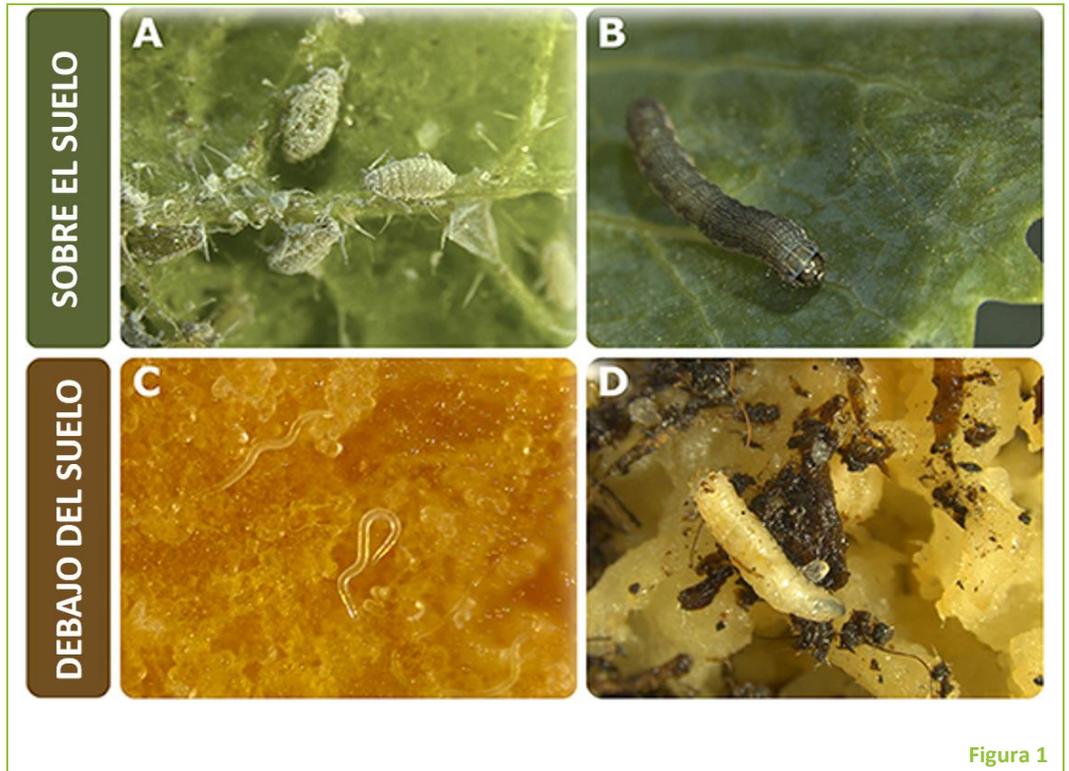


Figura 1

LAS PLANTAS: SUPERVIVIENTES EN UN MUNDO PELIGROSO

Las plantas son una importante fuente de alimento para muchos organismos, incluyendo a los humanos. Los consumidores de plantas, o también llamados **herbívoros**, pueden ser grandes mamíferos, como las vacas, las ovejas o los caballos, pero la mayoría son mucho más chicos, como las orugas o los áfidos o pulgones (**Figura 1**). Estos pequeños herbívoros generalmente se encuentran en grandes cantidades, y por eso pueden causar mucho daño. Los insectos, por ejemplo, son el grupo más diverso de animales en la Tierra. Hay cerca de 1 millón de especies conocidas de insectos, de las cuales cerca de la mitad son herbívoros. En comparación, existe solo cerca de 5500 especies de mamíferos en la Tierra. Además de los grandes y pequeños herbívoros que viven sobre el suelo, existen muchísimos organismos consumidores de plantas viviendo debajo del suelo. El suelo está repleto de muchos tipos de herbívoros que se alimentan de las raíces de las plantas, incluyendo larvas de insectos, pequeños gusanos llamados **nemátodos**, y organismos similares a las arañas, llamados ácaros (Figura 1).

Existen comúnmente grandes cantidades de herbívoros en el subsuelo, tal como los hay sobre el suelo. Por ejemplo, existen 30000 especies conocidas de nemátodos, de las cuales el 10% son consumidores de plantas. Una hembra de nemátodo produce hasta 200 huevos. Eso significa que una planta puede ser atacada por miles de nemátodos al mismo tiempo. Los insectos masticadores son otro problema. Ellos pueden mascar a través del sistema de transporte de

HERBÍVORO

Animal que se alimenta de plantas.

NEMÁTODOS

Animales muy pequeños similares a gusanos, que aparecen mayoritariamente en el suelo, pero también en lagos y mares, en el intestino de animales e incluso en el tracto digestivo de insectos.

agua de las raíces, lo que puede causar que las hojas caigan y la planta muera por la falta de agua.

¿CÓMO SE DEFIENDEN LAS PLANTAS?

Con tantos organismos tratando de atacarlas, pueden imaginar que las plantas tienen un duro trabajo de supervivencia. Como no pueden huir de sus atacantes, tienen que desarrollar formas de defenderse. Las plantas han desarrollado varias defensas contra los herbívoros [1]. Algunas **defensas vegetales** son fáciles de ver, como las espinas de una rosa, los pelos urticantes en las hojas de las ortigas, o la piel gruesa de las remolachas. Otras defensas, como las defensas químicas, son menos visibles. Cada planta produce miles de compuestos químicos diferentes, todos involucrados en procesos esenciales. Algunos compuestos químicos, como los azúcares, proveen de energía a la planta. Otros grupos de compuestos químicos ayudan a las plantas a defenderse de los atacantes. Estas defensas químicas pueden hacer que la planta tenga mal sabor, lo que impide que los herbívoros consuman sus tejidos vegetales. En algunos casos, los químicos pueden incluso ser tóxicos. Las defensas químicas pueden también afectar a los humanos. Existen muchas plantas que te enfermarían si las comieras, por ejemplo, esto ocurre con los frutos tóxicos de la hierba mora. Algunas plantas, como la hiedra venosa, pueden causarte sarpullidos e incluso causarte quemaduras o irritación cuando las tocas. Eso sí, la mayoría de las defensas químicas no son tan malas. De hecho, es altamente probable que ya hayas estado expuesto a defensas químicas vegetales.

Nos ha llegado a agradar el sabor de algunos químicos que producen las plantas. ¿Alguna vez pusiste mostaza en tu hotdog, frankfurter o salchicha? ¿o has disfrutado de un agradable curry con semillas de mostaza? El sabor amargo intenso de la mostaza es causado por defensas químicas llamadas glucosinolatos. En la naturaleza, los **glucosinolatos** ayudan a las plantas a defenderse de insectos, hongos y bacterias. La cafeína en el café, que ayuda a las personas a despertar en la mañana, no es producida por los árboles de café para complacer a los humanos. En realidad, las plantas de café, o cafetos, producen la cafeína para proteger a sus semillas -los granos de café- de los ataques de insectos. La cafeína no solo les otorga a los granos de café el sabor amargo, sino que también puede paralizar o matar a los insectos que intentan alimentarse de los granos.

Estos ejemplos muestran que las defensas químicas de las plantas son una forma efectiva de protección contra los herbívoros presentes en su entorno. Aún así, la mayoría de las plantas no están completamente a salvo con esas defensas químicas. Si prestan atención a las plantas que los rodean, notarán que la mayoría muestra cierto daño, como agujeros en las hojas, por ejemplo. Esto se debe a que la producción de defensas químicas implica un costo para las plantas. Las plantas no solo deben preocuparse por defenderse, sino que también deben disponer de energía para crecer y para producir flores y semillas. Entonces, la energía que las plantas pueden gastar en producir defensas es limitada. Por eso, las plantas deben usar esa cantidad limitada de energía de un modo eficiente.

DEFENSAS VEGETALES

Características de una planta que afectan el comportamiento, crecimiento o supervivencia de los herbívoros.

GLUCOSINOLATOS

Sustancias de defensa responsables del sabor amargo intenso de la mostaza y del wasabi. Aunque la mayoría de los humanos disfruta de su sabor, son tóxicos para la mayoría de los insectos, nemátodos y bacterias.

¿CÓMO SE DEFIENDEN LAS PLANTAS DE FORMA EFICIENTE?

Los fósiles de hojas dañadas por herbívoros muestran que las plantas y los herbívoros han estado conviviendo en la Tierra por más de 400 millones de años. Durante tanto tiempo, las plantas han desarrollado varias formas de producir defensas de manera eficiente en términos de costos energéticos. Una forma de hacerlo es producir defensas solo cuando son necesarias, por ejemplo, cuando los insectos comienzan a comerlas [2]. Al producir defensas solo cuando están bajo ataque, las plantas ahorran energía cuando no hay peligro. La desventaja de esta estrategia es que la producción de defensa solo se iniciará cuando el herbívoro comienza a comer la planta. Debido a que la producción de defensas lleva su tiempo, la planta puede sufrir un daño considerable antes de que el herbívoro se marche o muera.

Otra estrategia es la de tener siempre defensas disponibles, pero en cantidades limitadas. En este caso, la planta mueve la mayoría de las defensas hacia las partes vegetales que son más importantes para su supervivencia y que son vulnerables al ataque por herbívoros [3]. Esto sería como defender un castillo colocando los soldados en el muro externo, que es donde ocurriría el primer ataque y donde el castillo es más vulnerable. Claramente, el tesoro del castillo también estaría bien resguardado, al ser lo más valioso. Sobre el suelo, las partes vegetales valiosas incluyen a las hojas jóvenes, a las flores y a las semillas, las cuales juegan roles esenciales en la obtención de energía o en producir la siguiente generación.

Bajo el suelo, el sistema de raíces, o sistema radicular, también tiene varias partes con diferentes valores. El sistema radicular de plantas como el tomate o el repollo consiste en tres partes: la **raíz primaria** o principal, las raíces laterales (o secundarias), y las raíces más finas (**Figura 2**). Las raíces laterales y las más finas ayudan a la planta a tomar nutrientes valiosos y agua desde el suelo. La raíz primaria colecta todo el agua y los nutrientes absorbidos por las raíces laterales y finas y distribuye todo hacia las partes vegetales que se encuentran sobre el suelo. De forma simultánea, los azúcares y otras sustancias que se producen en las hojas se mueven a través de la raíz primaria en la dirección opuesta. Este importante rol que tiene la raíz primaria en el transporte de nutrientes y agua la convierte en parte esencial del sistema radicular. Cuando los herbívoros dañan la raíz primaria, las rutas de transporte se rompen y la planta muere. En plantas como la remolacha, la raíz primaria almacena energía en forma de azúcares. Esto es como el tesoro en el castillo. La raíz primaria es considerada la parte más valiosa de la raíz y, por lo tanto, es la más defendida, seguida de las raíces laterales y las raíces finas [4] (**Figura 2**).

RAÍZ PRIMARIA

Raíz principal de la cual emergen las raíces laterales. Colecta el agua y los nutrientes desde el resto del sistema radicular y los distribuye a las partes vegetales que se encuentran sobre la tierra. En zanahorias y remolachas, almacena almidón y nutrientes.

Figura 2

Distribución de las defensas químicas sobre el sistema radicular y cómo afecta a los herbívoros subterráneos. El rojo indica el mayor nivel de defensa en el sistema radicular y el amarillo indica el menor nivel. Las defensas químicas son generalmente más numerosas en la raíz primaria (rojo), seguido por las raíces laterales (naranja) y las raíces más finas (amarillo). Algunos insectos herbívoros, como la mosca de la col, pueden desactivar las defensas químicas vegetales y consumir la raíz primaria donde las defensas son altas. Otros herbívoros, como el escarabajo europeo de junio, no pueden desactivar las defensas vegetales y entonces, consumen las raíces más finas, donde los niveles de defensa son más bajos (Crédito por la imagen: Jennifer Gabriel).

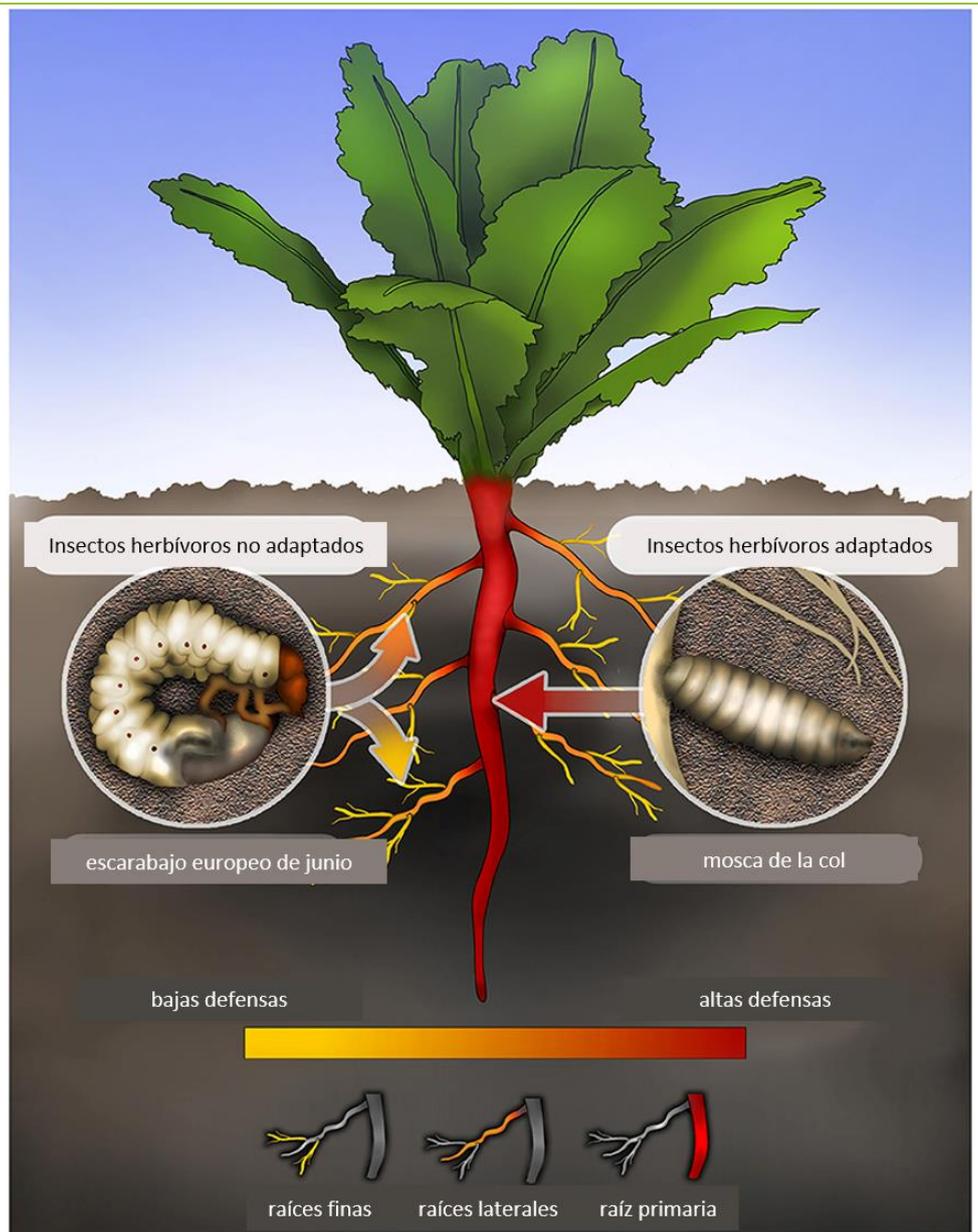


Figura 2

¿CÓMO AFECTAN LAS DEFENSAS VEGETALES A LOS HERBÍVOROS DEL SUELO?

Los herbívoros deciden qué parte de la raíz consumir en base al valor nutricional y a qué tan bien está defendida [5]. La mayoría de los herbívoros preferirían alimentarse de la raíz primaria porque es la parte más nutritiva del sistema radicular. Sin embargo, tal como se mencionó antes, la raíz primaria es también la parte mejor defendida. No todos los herbívoros pueden vencer esas defensas químicas. Algunos herbívoros, como las larvas de la mosca de la col, pueden desactivar las defensas químicas y alimentarse de la raíz primaria [4]. Otros herbívoros, como las larvas del escarabajo europeo de junio, no pueden lidiar con los altos niveles de defensa en la raíz primaria y, a cambio, se alimentan de las raíces laterales y finas (Figura 2). La distribución de las defensas químicas a lo largo del sistema radicular y la capacidad de los herbívoros para superar esas

defensas puede, entonces, influir fuertemente sobre donde pueden encontrarse los herbívoros en el suelo.

¿CÓMO PUEDEN LOS CIENTÍFICOS USAR ESTE CONOCIMIENTO?

El conocimiento adquirido al estudiar los sistemas de defensa vegetal nos ayuda a comprender cómo las plantas interactúan con los herbívoros y otros animales en sus entornos. Asimismo, conocer cómo las plantas se defienden puede ayudarnos a desarrollar formas más eco-amigables de cultivar. A través del **mejoramiento vegetal** se pueden crear nuevas variedades de cultivos, como plantas con colores más agradables, sabores más interesantes, o frutos más grandes. De forma similar, la mejora de plantas puede crear cultivos que se defiendan mejor de sus atacantes. Para lograrlo, los técnicos en mejoramiento vegetal deben entender cómo las plantas producen defensas, y contra qué atacantes son efectivas esas defensas. Los científicos que estudian las defensas vegetales mediante experimentos de laboratorio y estudios en el campo coleccionan este tipo de información. Al crear cultivos con mejores defensas, podemos ayudar a los agricultores a reducir el uso de pesticidas químicos. Esta es una buena noticia tanto para la salud humana como para la salud de nuestro medio ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Jennifer Gabriel (iDiv, Leipzig) por su valiosa ayuda con las figuras. Agradecemos a los editores de la colección Biodiversidad de Suelos por el apoyo brindado durante el proceso de escritura y a los jóvenes revisores y sus mentores por sus comentarios y consejos, que fueron esenciales para completar este artículo. Finalmente, nos gustaría agradecer a la Fundación Alemana de Investigación (DFG) por financiar nuestra investigación en la mosca de la col en iDiv (DFG-FZT 118, 202548816), en colaboración con ChemBioSys (SFB 1127, 39748522).

REFERENCIAS

- [1] Ehrlich, P. R., and Raven, P. H. 1964. Butterflies and plants—a study in coevolution. *Evolution*. 18:586–608.
- [2] Karban, R. 2020. The ecology and evolution of induced responses to herbivory and how plants perceive risk. *Ecol. Entomol.* 45:1–9. doi: 10.1111/een.12771
- [3] Meldau, S., Erb, M., and Baldwin, I. T. 2012. Defence on demand: mechanisms behind optimal defence patterns. *Ann. Bot.* 110:1503–14. doi: 10.1093/aob/mcs212
- [4] Tsunoda, T., Grosser, K., and van Dam, N. M. 2018. Locally and systemically induced glucosinolates follow optimal defence allocation theory upon root herbivory. *Funct. Ecol.* 32:2127–37. doi: 10.1111/1365-2435.13147

MEJORAMIENTO VEGETAL

Ciencia de crear nuevas variedades de plantas con características deseables, como sabor, olor, color, resistencia a herbívoros o resistencia a ciertas condiciones ambientales, como la sequía.

[5] Tsunoda, T., and van Dam, N. M. 2017. Root chemical traits and their roles in belowground biotic interactions. *Pedobiologia (Jena)*. 65:58–67. doi: 10.1016/j.pedobi.2017.05.007

EDITADO POR: Helen Philips, Saint Mary's University, Canada

CITA: Touw AJ and Van Dam NM (2022) How Do Plants Defend Themselves From Root-Eating Creatures?. *Front. Young Minds*. 10:660701. doi: 10.3389/frym.2022.660701

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES: Axel J. Touw preparó el primer borrador del artículo y de las figuras, Nicole M. van Dam contribuyó en la escritura y discusión del contenido.

CONFLICTO DE INTERESES: Los autores declaran que la investigación se llevó a cabo en ausencia de relaciones comerciales o financieras que puedan constituir un potencial conflicto de intereses.

DERECHOS DE AUTOR/COPYRIGHT © 2022 Town y Van Dam. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de Creative Commons Attribution License (CC BY). Se permite el uso, la distribución o reproducción en otros foros, siempre que los autores originales y los propietarios de los derechos de autor sean acreditados y reconocidos, y que la publicación original en esta revista sea citada, de acuerdo con la práctica académica aceptada. No se permite el uso, la distribución o reproducción que no cumplan con estos términos.

JÓVENES REVISORES



AVANI, EDAD: 10

Hola, soy Avani. Disfruto de correr y nadar. También soy una bailarina. Me encanta salir a caminar con mi perro, o juntar rocas. Me encanta la matemática, las ciencias y los deportes. Disfruto jugando videojuegos y llamando a amigos. Me encanta la naturaleza y el clima frío y ventoso.



CATHERINE, EDAD: 15

Me encanta la música y cantar, toco el violín y la guitarra ¡y también disfruto escribiendo! Soy parte de un grupo de danza de las tierras altas y soy voluntaria en clubes y guías para niños. Disfruto atendiendo eventos juveniles en mi iglesia y haciendo ejercicio. ¡Espero que al revisar estos artículos pueda aprender cosas nuevas e interesantes!



HARRISON, EDAD: 11

Me encanta practicar deportes como el hockey, salir a correr ¡y perseguir a mi perro! También me encanta descubrir cosas nuevas ¡pero no comida nueva! Como actualmente asisto a la escuela primaria, estoy emocionado de comenzar mi nueva escuela secundaria y conocer muchas materias nuevas. Mi materia favorita hasta ahora es matemáticas.

AUTORES



AXEL TOUW

A Axel le ha fascinado la naturaleza desde joven. Le interesaban mayoritariamente los dinosaurios, los gatos, los perros, los lagartos los sapos, y en particular, las aves. De hecho, su primer dibujo fue un búho (con algo de imaginación). Mientras estudiaba biología, le comenzó a interesar cómo las plantas se comunican, especialmente con los insectos. Hoy día, Axel estudia cómo las plantas se defienden contra microbios, nemátodos e insectos. En su tiempo libre, le gusta estar al aire libre, jugar al fútbol, leer y cocinar. Además, intenta utilizar el conocimiento adquirido en sus investigaciones en su jardín, con niveles variables de éxito. *axel.touw@idiv.de



NICOLE M. VAN DAM

Nicole nació en Países Bajos, donde creció junto a sus padres y 2 hermanas pequeñas. Cuando era niña, le gustaba experimentar con insectos. Por ejemplo, probó si las hormigas pueden nadar colocándolas en charcos (y en caso de que quieras saber, lo hacen bastante bien). Nicole estudió biología en Wageningen, Países bajos. Allí, se interesó en saber cómo las plantas se auto defienden y cómo los agricultores pueden utilizar ese conocimiento para reducir el uso de pesticidas. Luego de realizar muchos experimentos con insectos y plantas en varios lugares del mundo, se convirtió en profesora. En su tiempo libre, le gusta practicar yoga y mirar películas junto a sus dos hijos (19 y 21). Le gusta cultivar vegetales y frutos orgánicos en su jardín junto a su esposo. Allí también encuentra inspiración para nuevos proyectos de investigación.

TRADUCTORA

MARÍA MOREL REVETRIA

A María le han gustado las plantas desde que tiene memoria. Durante sus estudios de biología en la Universidad, 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 salud del suelo. Además, le encanta la idea de llevar las ciencias al público no científico. Es miembro de ComicBacterias, un proyecto de divulgación de la Microbiología a través de caricaturas. El turismo en familia es una de sus aficiones favoritas. ORCID iD: 0000-0002-9064-5675. Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.