

## Revisión

---

### **Fernando Borie: cinco décadas de investigación en suelos y micorrizas de Chile**

Roberto Godoy<sup>1</sup>

Pablo Cornejo<sup>2</sup>

María de la Luz Mora<sup>3</sup>

César Marín<sup>4,5\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Ambientales y Evolutivas, Universidad Austral de Chile, Avda. Rector Eduardo Morales S/N, Valdivia, Chile

<sup>2</sup>Escuela de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile

<sup>3</sup>Bioren, Universidad de la Frontera, Temuco, Chile

<sup>4</sup>Centro de Investigación e Innovación para el Cambio Climático (CiiCC), Universidad Santo Tomás, Av. Ramón Picarte 1130, Valdivia, Chile

<sup>5</sup>Department of Ecological Sciences, Faculty of Earth and Life Sciences, Vrije Universiteit Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands

Autor de correspondencia: César Marín. cmarind@santotomas.cl

Enviado: 09/12/2022

Aprobado: 27/12/2022

Conflictos de interés: los autores declaran NO tener conflictos de interés

DOI: 10.22370/bolmicol.2022.37.2.3559

---

Fernando Ricardo Borie Borie (Figura 1), nacido en la ciudad de Los Andes, Región de Valparaíso, Chile, el 27 de mayo de 1943, es Químico Farmacéutico de la Universidad de Concepción (Chile), e inició su carrera como Académico de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Chile en 1975, realizando los primeros estudios del comportamiento del fósforo en suelos volcánicos de Chile. De esta forma, incursionó en el estudio de la naturaleza, composición y transformación de la materia orgánica en suelos de Chile. Esto significó establecer unas bases científicas profundas para entender el fraccionamiento del fósforo orgánico en suelos volcánicos, así como su alta capacidad de adsorción, columna vertebral de la investigación que lideraría por las

siguientes décadas. Con estos primeros estudios, y favorecido por las colaboraciones internacionales con el grupo de investigación liderado por el Dr. José Miguel Barea (Estación Experimental del Zaidín - CSIC, Granada, España), Fernando Borie realizó su tesis de doctorado acerca de la primera caracterización de las fracciones de fósforo orgánico en los suelos volcánicos de la macrozona Sur de Chile, obteniendo su grado de Doctor en Ciencias en el año 1981. En esta fructífera interacción, y dado el avance que el grupo liderado por el Dr. Barea demostraba en la simbiosis micorrízica-arbuscular (de forma pionera en España), el Dr. Borie incorporó esta nueva temática por vez primera en Chile, sobre el rol que esta simbiosis ejerce en la nutrición de fósforo por parte de las plantas, en la conservación del suelo, y en el aumento de la productividad vegetal. De regreso a Chile, el Dr. Borie se incorpora en el año 1983 al Departamento de Ciencias Químicas de la recientemente fundada Universidad de La Frontera (UFRO), Temuco, Chile, como parte de un programa de incorporación de capital humano altamente calificado a la institución, demostrado por una sólida línea de investigación en hongos micorrízicos arbusculares y su rol en sistemas agroforestales del Centro-Sur de Chile. Esta línea pionera, destaca aún en la actualidad como una de las más consolidadas y productivas de la institución, así como también del continente sudamericano. Por estas contribuciones, recientemente, el Dr. Borie fue galardonado con el Primer premio Micorrizólogo eminente sudamericano, otorgado por la South American Mycorrhizal Research Network (<https://southmycorrhizas.org/events/awards/>). Cabe destacar que el Dr. Borie realizó estancias posdoctorales en España (CSIC - Granada), Francia (INRA - Montpellier), Inglaterra (Rothamsted Experimental Station - Londres), Suecia (Swedish University of Agricultural Science – Upsala), entre otras.

Además de tener unas inmensas cualidades humanas, humildad, sencillez, y disposición, el legado del Dr. Borie merece ser destacado por su alta productividad científica, que lo posiciona como el científico con mayor número de contribuciones relacionadas a las Ciencias del Suelo en Chile (Fuente: SCOPUS). Este récord de publicaciones se encuentra en las más prestigiosas revistas de las disciplinas agrícolas, biológicas, y ambientales, entre otras. El análisis de las contribuciones del Dr. Borie a la Ciencia del Suelo, queda patente por la diversidad de tópicos que ha incluido en su carrera de investigador (Figura 2). Sus contribuciones también han sido numerosas en capítulos de libros de editoriales nacionales e internacionales.

Cuando el Dr. Fernando Borie comienza a trabajar en química de suelos en 1975, se integra al grupo de investigación que dirigía en aquel entonces el Dr. Hugo Zunino, en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas de la Universidad de Chile, en la línea relacionada al estudio del carbono en suelo, específicamente respecto a la reactividad de la Materia Orgánica de suelos derivados de cenizas volcánicas (Andisoles). A ambos los unía el interés en los aspectos biológicos ligados al ciclo del carbono en Andisoles, y es así como en 1982 publicaron en conjunto una serie de artículos en el *Chilean Journal of Agricultural Research* (nombre actual, previamente llamada *Agricultura Técnica*) con los nombres: Bioquímica de Suelos derivados de cenizas volcánicas: 1. Ecología microbiana y su relación con las propiedades físico

químicas; 2. Actividad ureasica; 4 Solubilización de fosfatos por hongos del suelo. Esto marcó el inicio de su formación en microbiología del suelo, centrado primeramente en hongos de vida libre. Posteriormente, complementó esta formación con el estudio de hongos de mayor complejidad, como los hongos formadores de micorrizas arbusculares con la guía, apoyo, y colaboración del Dr. José Miguel Barea, quien diseminó el conocimiento de los hongos simbioses por toda Latinoamérica.

En los años siguientes y ya como Profesor Titular de la Universidad de La Frontera (desde 1983 hasta 2018), con un grupo de investigación formado localmente y con fondos competitivos provenientes de proyectos nacionales e internacionales, comenzó a profundizar su investigación sobre la relación entre el ciclo del carbono con el del fósforo, adelantándose a los trabajos de secuestro de carbono en el suelo, que hoy se mira como el gran reservorio para mitigar el cambio climático. Así, algunos de sus primeros trabajos están relacionados con la síntesis *in vitro* de compuestos macromoleculares altamente recalcitrantes (como glucosa, fosfatos, y óxido de hierro como catalizador), a partir de hongos provenientes de suelos volcánicos, siendo estos modelos *in vitro* comparables con los habitualmente encontrados naturalmente en Andisoles. Paralelamente, se cuantificaron estos fosfatos órgano-minerales en diversos suelos volcánicos, con o sin fertilización, observando que, con el tiempo, el fósforo agregado como fertilizante se asocia a estas macromoléculas, haciéndolo muy poco disponible para las plantas. También, el Dr. Borie y su grupo de investigación dejan en manifiesto a través de sus estudios, la importancia del fósforo orgánico (que es diferente al fósforo Olsen o disponible para plantas) en estos suelos (componen cerca del 50% del fósforo total), determinando que los inositol-fosfatos (fitatos) que también forman parte de estas macromoléculas, son altamente estables. Con estos antecedentes se conformaron dos líneas de investigación: una relacionada al fraccionamiento del fósforo de acuerdo a su labilidad, y la segunda relacionada a cómo aumentar la eficiencia de captación de fósforo por parte de las plantas a través de la simbiosis micorrízica arbuscular y de la búsqueda de plantas no micorrizadas con estrategias de captación complementarias, como las proteáceas. En Temuco se encontraba entonces el único grupo en el país que trabajaba en estos temas de fósforo orgánico y micorrizas, lo cual posteriormente se incrementó y expandió a otros centros nacionales a través de la formación de capital humano de pregrado y postgrado.

Otro hito de la carrera científica del Dr. Borie lo marca al ser un pilar fundamental en la creación del Doctorado en Ciencias de Recursos Naturales de la Universidad de La Frontera (UFRO) en el 2001, y en donde las líneas de microbiología y ecología microbiana que establece, han constituido un motor de desarrollo científico en el Centro-Sur de Chile. Un primer aspecto que se desarrolló al interior del grupo fue el estudio de la glomalina, una glicoproteína muy estable producida por las hifas de los hongos formadores de micorrizas arbusculares, y cuya importancia como parte del carbono almacenado en nuestros ecosistemas agrícolas y forestales ha sido demostrada, así como también su capacidad de cementar las partículas del suelo incrementando su

agregación (aspecto de inmensa importancia para el crecimiento vegetal), conjuntamente con su elevada capacidad quelante que hace disminuir la fitotoxicidad del aluminio en suelos ácidos y del cobre en suelos contaminados. Su investigación en estos y otros aspectos relacionados ha dado origen a variadas publicaciones ampliamente citadas, y a la formación de 9 Doctores en Ciencias de Recursos Naturales (UFRO) y uno en Química, proveniente de la Universidad de Chile.

Actualmente, se encuentra desarrollando un proyecto Fondecyt Regular (ANID - Chile) en la Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco, Chile, abocado al estudio de plantas de origen ancestral con elevada capacidad nutricional, como quinoa, alforfón, y amaranto, los que junto al lupino no solo son usados en agricultura campesina, sino que es posible además utilizarlos como pre-cultivo en un sistema de rotación con trigo por ejemplo, pudiendo movilizar parte del fósforo residual del suelo. Estos cultivos de crecimiento rápido pueden beneficiar al cultivo subsiguiente, evitando el uso excesivo de biocidas y fertilizantes, a su vez promoviendo el desarrollo social y económico de comunidades campesinas.

El Dr. Fernando Borie ha dejado una huella imborrable en la UFRO y en el Centro-Sur de Chile, siendo investigador líder en numerosas investigaciones del Fondo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (FONDECYT) desde la década de los 1990's hasta el presente y de forma ininterrumpida. Igualmente, destaca como el director del primer proyecto FONDEF de la institución, y encargado o supervisando diversos proyectos de investigación con fondos externos e internos en la Universidad. Su desarrollo académico lo relacionó fuertemente con la formación de Agrónomos, donde era un referente de reconocimiento nacional e internacional por sus conocimientos de la química agrícola y su relación con el suelo, producción de plantas, recursos naturales, y el medio ambiente en general. Esta destacada labor lo llevó a ocupar la más alta jerarquía académica de la institución, donde igualmente desempeñó el cargo de Director de Investigación y Director del Centro AMESUVOS (BIOREN - UFRO). Adicionalmente, formó parte del equipo que diseñó e implementó el Doctorado y Magíster en Ciencias de Recursos Naturales de la UFRO, el que en el presente es uno de los programas de Doctorado más prestigiosos de Chile, y que cuenta con más de 100 graduados. En este mismo Programa destacó como Tutor y Guía de numerosos Doctorantes, en temáticas tan diversas como: i) La simbiosis *Rhizobium*-leguminosa, ii) La naturaleza del fósforo en suelos volcánicos, iii) La diversidad de las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares, iv) La glomalina y la tolerancia a la fitotoxicidad por aluminio, v) Mecanismos de establecimiento de Proteáceas en suelos deficientes en nutrientes, y vi) Efectos de la labranza sobre las características de los suelos agrícolas en Chile y Ecuador, entre otros. Desarrolló diversos estudios en suelos ácidos con restricción para la agricultura en La Araucanía, región importante para la producción de cereales en Chile. Así, combinó la investigación básica y aplicada, favoreciendo la introducción de cultivos con genotipos de razas locales, vía selección de

cereales von Baer para producción de granos en Chile y con simbiontes micorrízicos adaptados a condiciones de suelo limitantes: pH ácido, alta saturación de aluminio, bajo fósforo disponible, climas extremos, entre otros factores.

La generación de conocimiento apoyado en la investigación científica de frontera, formación de capital humano de excelencia, y el desarrollo de áreas temáticas interdisciplinarias, fueron los objetivos de Fernando en los estudios de Ciencias del Suelo y conservación de los recursos naturales. Su sello es que los académicos deben otorgar a estudiantes y científicos jóvenes espacios y roles durante todas las etapas del proceso de investigación, aspecto relevante en su formación y posterior desempeño. Fernando siempre ha considerado que el proceso formativo de los doctorandos es fundamental, pues contribuye a la inserción de investigadores, tanto en la academia como en el sector productivo. La internacionalización de los programas de doctorado fue su meta para mejorar los estándares, como pilar fundamental para el logro de los objetivos planteados, y hacer ciencia desde el sur del continente sudamericano, pero con una mirada global. Esta incesante actividad lo ha llevado a formar nuevos investigadores, incluso fuera de las fronteras nacionales, destacando sus alianzas internacionales con centros de excelencia a nivel mundial. Por todo lo anterior, la UFRO lo ha reconocido como uno de sus académicos más destacados, otorgándole la Medalla a la Trayectoria Académica en el año 2005.

Finalmente, consideramos que el Dr. Fernando Borie es un académico genuino en Ciencias del Suelo, avalado en que su herencia científica al presente cuenta con una prolífica descendencia de investigadores jóvenes en quienes dejó marcada la impronta de la rigurosidad científica, del avance hacia las fronteras de la ciencia, y de la importancia del suelo, influyendo decididamente en el avance de numerosos objetivos de desarrollo sostenible desde el soporte de la ciencia. *Ad portas* de su cumpleaños número 80, y tras cinco décadas de una destacada carrera en ciencia del suelo y en el estudio de la simbiosis micorrízica, celebramos la carrera, trascendencia, y legado del Dr. Fernando Borie.

### **Agradecimientos**

A José Dörner por lectura crítica a la primera versión de este artículo.

