

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)
EN SUELOS Y OTROS MATERIALES
ATLAS DE IMÁGENES



SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM)
IN SOILS AND OTHER MATERIALS
ATLAS OF IMAGES

R. DELGADO CALVO-FLORES (editor)

J.M. MARTÍN GARCÍA (coeditor)

Colaboradores a la edición / Collaborators to the edition

A. MOLINERO GARCÍA Y R. MÁRQUEZ CRESPO

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)
EN SUELOS Y OTROS MATERIALES
ATLAS DE IMÁGENES



SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM)
IN SOILS AND OTHER MATERIALS
ATLAS OF IMAGES

GRANADA, 2024

© R. DELGADO CALVO-FLORES (editor)
J.M. MARTÍN GARCÍA (coeditor)

© LOS RESPECTIVOS AUTORES
Traducción al inglés revisada por:
English translation reviewed by:
CLAIRE NIEUWENHUIS

© UNIVERSIDAD DE GRANADA
Campus Universitario de Cartuja
Colegio Máximo, s.n., 18071, Granada
Telf.: 958 243 930 - 246 220
Web: editorial.ugr.es
ISBN: 978-84-338-7222-7
Depósito legal: Gr./978-2023
Edita: Editorial Universidad de Granada
Campus Universitario de Cartuja. Granada
Fotocomposición: Tarma, estudio gráfico. Granada
Diseño de cubierta: Tarma, estudio gráfico. Granada
Imprime: Comercial Impresores. Motril, Granada

Printed in Spain

Impreso en España

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.
Any form of reproduction, distribution, public communication or transformation of this work may only be carried out with the authorisation of its owners, unless otherwise provided by law.



Prof. Dr. Miguel Delgado Rodríguez (1921-2003).

Fotografía realizada en la
Universidad de Granada, 1960.

Photograph taken at the
University of Granada, 1960.

A la memoria de Miguel Delgado Rodríguez (1921-2003), Catedrático de la Universidad de Granada, impulsor y primer cultivador en la Facultad de Farmacia de las técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido en suelos y otros materiales de interés medioambiental y farmacéutico.

In memory of Miguel Delgado Rodríguez (1921-2003), Professor of the University of Granada, driving force and the first person to implement Scanning Electron Microscopy techniques in soils and other materials of environmental and pharmaceutical interest at the Faculty of Pharmacy.

Agradecimientos

Al Prof. Dr. Javier Romero Mora, catedrático de Óptica y director del Centro de Instrumentación Científica (2008-2023) de la Universidad de Granada (UGR), por la escritura de la valiosa presentación que antecede el texto.

A los proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación: *Tipologías de suelos mediterráneos versus cuarzo. En la frontera del conocimiento edafogenético*. Ministerio de Economía y Competitividad de España (referencia: GL2016-80308-P) y *Evaluación de la calidad farmacéutica y cosmética de polvos de talco como agentes para aplicación cosmética*. Universidad de Granada-Junta de Andalucía-Unión Europea (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) (referencia B-CTS-20-UGR20). Gracias a su financiación se ha podido acometer la presente edición.

Al Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de la Universidad de Granada, quien a través de su Plan Propio de Investigación ha permitido finalizar la edición de la obra.

Asimismo, una parte importante de las investigaciones fueron cofinanciadas en el momento de su realización por el Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Junta de Andalucía-UGR, *Ciencias del Suelo y Geofarmacia* (referencia RNM-127).

Al Centro de Instrumentación Científica de la UGR (CIC), por la disponibilidad a los investigadores de los magníficos equipos de SEM que posee, manejados por un excelente personal técnico. Este libro se ha podido crear y escribir gracias a todos ellos.

Al Prof. Dr. Carlos Dorronsoro Fernández por la inestimable ayuda recibida en la redacción de los Antecedentes históricos. Como alumno directo del Profesor Miguel Delgado Rodríguez ha aportado valiosos datos sobre sus trabajos y escuela de profesores-investigadores.

A los Profs. Drs. Manuel Sánchez-Marañón y Jesús Párraga Martínez por el aliento recibido y las excelentes ideas aportadas al proyecto. También por el magnífico trabajo desarrollado en los capítulos de su autoría.

Al Técnico Superior, Bibliotecario Jefe de Sección de la Biblioteca de la Universidad de Granada, Antonio Ruiz Martínez por los impecables escaneos HD de las fotografías.

A José María Luque Martín, vicedecano de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada y Técnico Superior, por las artísticas fotografías de los Antecedentes históricos.

A la Editorial Universidad de Granada (eug), por haber acogido entre sus títulos a la presente obra.

Sin olvidar a la Dra. Isabel Guerra Tschuschke, Técnico Superior del CIC (UGR), por su interés y profesionalidad en las muchas sesiones de trabajo que hemos efectuado con ella en su equipo de SEM.

Finalmente, a los colaboradores a la edición, Dr. Alberto Molinero García y Dra. Rocío Márquez Crespo, cuya vocación y brillante ejecutoria en la Microscopía Electrónica de Barrido ha servido de impulso para acometer la escritura de este libro.

Los editores,

Dr. Rafael Delgado Calvo-Flores y Dr. Juan Manuel Martín-García

Acknowledgments

To Prof. Dr. Javier Romero Mora, Professor of Optics and Director of the Scientific Instrumentation Center (2008-2023), University of Granada (UGR), for the writing of the valuable presentation that precedes the text.

To Research, Development and Innovation projects: *Mediterranean soil typologies versus quartz. At the frontier of edafogenetic knowledge*. Spanish Ministry of Economy and Competitiveness (reference: GL2016-80308-P) and *Quality evaluation of pharmaceutical and cosmetic powders as agents for cosmetic application*. University of Granada-Junta de Andalucía-European Union (European Regional Development Fund) (reference B-CTS-20-UGR20). It has been possible to undertake this edition thanks to its funding.

To the Vice-Rectorate for Research and Knowledge Transfer of the University of Granada, who through its Own Research Plan has made it possible to complete the publication of the work.

Also, a significant part of the research was co-financed at the time of its implementation by the Research and Technological Development Group of the Junta de Andalucía-UGR, *Ciencias del Suelo y Geofarmacia* (reference RNM-127).

To the Scientific Instrumentation Center (CIC) of the UGR, for the availability of the magnificent SEM equipment to researchers, managed by an excellent technical staff. This book has been create and written thanks to all of them.

To Prof. Dr. Carlos Dorronsoro Fernández for the invaluable help received in the drafting of the Historical Background. As a direct student of Professor Miguel Delgado Rodríguez he has contributed valuable data on his work and school of professors-researchers.

To Profs. Drs. Manuel Sánchez-Marañón and Jesús Párraga Martínez for the encouragement received and the excellent ideas contributed to the project. Also for the magnificent work developed in the chapters of his authorship.

We also thank Antonio Ruiz Martínez, Senior Technician and Section Chief Librarian of the University of Granada Library, for the impeccable HD scans of the photographs.

We are also grateful to José María Luque Martín, vice-dean of the Faculty of Pharmacy at the University of Granada and Senior Technician, for the artistic photographs in the Historical Background.

To the Editorial Universidad de Granada (eug), for having received among its titles the present work.

Not to mention Dr.^a Isabel Guerra Tschuschke, Senior Technician of the CIC (UGR), for her interest and professionalism in the many work sessions carried out with her in her SEM equipment.

Finally, to the collaborators to the edition, Dr. Alberto Molinero García and Dr.^a Rocío Márquez Crespo, whose vocation and excellent performance in Scanning Electron Microscopy has served as an impetus to undertake the writing of this book.

The editors

Dr. Rafael Delgado Calvo-Flores and Dr. Juan Manuel Martín-García

Presentación

En el suelo se encuentra la vida y la microscopía electrónica permite su percepción más íntima. En este libro que nos ofrecen sus editores, los profesores de la Universidad de Granada, Rafael Delgado Calvo-Flores y Juan Manuel Martín García, se incluye una colección muy interesante de capítulos temáticos de investigación que manifiestan tanto el alcance de determinadas investigaciones en el campo de la materia mineral, como el revulsivo que ha supuesto la utilización de microscopios electrónicos para desentrañar las verdades de la Naturaleza. Son ejemplos clarísimos e ilustrativos de ello.

El desarrollo de las Ciencias Naturales: la Física, la Química, la Biología y la Geología, o cada una de sus partes, ha necesitado de instrumentos que ayuden al ser humano a ver lo que puede ser la composición de la materia, desarrollando instrumentos, que, en principio, eran la mayoría ópticos. Así los telescopios para observar los objetos grandes y lejanos y profundizar en el Universo. Para lo pequeño y cercano se desarrollaron lupas, conocidas como microscopios simples, y, posteriormente, los microscopios compuestos, o, simplemente, microscopios. Ellos nos han permitido observar más allá del límite de resolución del ojo humano, pero con limitaciones, que teóricamente llegan hasta los mil o dos mil aumentos. Con estos dispositivos se traspasaron las fronteras de lo milimétrico hasta lo micrométrico. Además, el acoplamiento a estos dispositivos de cámaras fotográficas permitió el registro de las imágenes observadas, y evitar el trabajo de memorización y dibujo de lo observado.

En la segunda mitad del siglo XX aparece con fuerza una nueva tendencia para superar los límites de aumentos en los microscopios convencionales. El desarrollo de la Física Cuántica y en concreto, la enunciación de la dualidad onda-corpúsculo, permitía teóricamente pasar de las longitudes de onda ópticas a otras mucho menores, y con ello aumentar el límite de resolución en las imágenes obtenidas. Para ello se pasa de utilizar el binomio luz-lentes ópticas de los microscopios ópticos, al binomio haz de electrones- lentes electro-magnéticas, en los microscopios electrónicos. Se va más allá de lo 'micro' hasta lo 'nano' y aún más: resoluciones por debajo del ángstrom.

Además, la microscopía electrónica se ha dotado de capacidades que van más allá de la captura y registro de imágenes de lo muy pequeño, como son las que permiten el análisis de la materia para conocer su composición elemental y su

estructura. Todo ello con dispositivos que permiten analizar los rayos X emitidos con el bombardeo de la muestra por el haz de electrones, los electrones retrodispersados y otros accesorios que conforman a los microscopios electrónicos como instrumentos que van más allá de ser meros dispositivos formadores de imágenes.

Esto es posible tanto en microscopios electrónicos de transmisión, TEM, como los de barrido, SEM, que son la parte fundamental de este libro. Estos últimos ayudan a obtener unas preciosas imágenes tanto de materia inorgánica como de seres vivos, que simulan la tercera dimensión, de las que se presentan ejemplos extraordinarios en los capítulos de este libro. Es cierto que la obtención de imágenes microscópicas realmente tridimensionales es aún un reto de la tecnología, aunque ya se disponen de dispositivos holográficos o FIB, que nos acercan a ellas.

En este libro, que tengo el honor de prologar, se incluyen contribuciones de investigación en suelos y materiales de interés sanitario que han precisado de la microscopía electrónica de barrido SEM, realizadas por los investigadores del grupo RMN127 del Departamento de Edafología y Química Agrícola de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Granada. Dadas las conexiones nacionales e internacionales que supone la actividad de cualquier grupo de investigación científica que se precie, se incluyen también contribuciones de otros autores de la propia Universidad de Granada y de otros centros nacionales y extranjeros.

Este libro es muy completo en su temática, ya que no solo incluye artículos relacionados con la investigación en la morfología del suelo, y distintos tipos de materiales, como los talcos, las arcillas, los cuarzos, o los iberulitos, o los biominerales, sino que contiene capítulos dedicados a la historia de la microscopía en general y en concreto de la microscopía electrónica y la descripción de los elementos de un microscopio electrónico de barrido. Así mismo, se incluye un capítulo sobre tratamiento y mejora digital de las imágenes captadas. Cubre, por tanto, desde los fundamentos a las técnicas aplicadas a la investigación, en temas tan interesantes como la biomineralización, el concepto de la fábrica SEM de suelos o la aplicación a distintos materiales de interés sanitario o industrial. Todo ello ilustrado con una gran abundancia de imágenes obtenidas con microscopía electrónica, lo que hace de este libro un verdadero atlas de imágenes, que podría considerarse uno de los objetivos primeros alcanzados con su publicación.

Pero este libro es también, como deja bien indicado su primer editor en los Antecedentes históricos, un homenaje a la figura del Profesor D. Miguel Delgado Rodríguez, gran impulsor del uso de la microscopía óptica en su aplicación al estudio de la Morfología de los suelos en la Universidad de Granada. Este profesor es de aquellos que en la segunda mitad del siglo XX hicieron crecer la Ciencia en España a base de un esfuerzo ímprobo, y que permitieron pasar de un país de investigación escasa, a veces una singularidad en las universidades, a una realidad actual en la que es inconcebible un país occidental que no genere su propia Ciencia. Y todo ello lo hicieron con gran escasez de medios pero con sobradas cantidades de vocación. Lo que sembró D. Miguel con su trabajo creció en la Edafología universitaria de la

Facultad de Farmacia, con la evolución natural que supuso pasar de la microscopía óptica a la electrónica; paso en el que fue fundamental la adquisición del primer microscopio electrónico SEM en la Facultad de Farmacia, marca Hitachi, en el año 1985 y que aún presta servicio. Fue el Profesor D. Rafael Delgado Calvo-Flores quien se hizo responsable del mismo con gran entusiasmo e incansable ánimo y con la ayuda posterior de la excepcional técnica la doctora D.^a Rocío Márquez Crespo; por demás, eficaz colaboradora a la edición. Lo que ha supuesto el uso de este equipo y sus posteriores mejoras, queda reflejado a lo largo de las páginas de este libro.

En el año 2010 se produce un hecho importante y es que, gracias al apoyo del entonces Rector de la Universidad de Granada Profesor D. Francisco González Lodeiro y la indiscutible amplitud de miras del Profesor D. Rafael Delgado Calvo-Flores y el decano de la Facultad de Farmacia en ese momento, Profesor D. Luis Recalde Manrique, se crea una sede del Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada (CIC-UGR) dentro de la Facultad de Farmacia, con dos unidades, una de técnicas y equipos de análisis químico y otra, la que aquí nos interesa, de microscopía electrónica, asumiendo el CIC la gestión del equipo Hitachi mencionado. Esta unidad ha crecido desde entonces, dotándose en la actualidad, además del microscopio Hitachi mencionado, con otro microscopio SEM, marca Zeiss, modelo Leo 1530 Geminis y un recientemente adquirido SEM-FIB marca Tescan, lo que no es más que el reflejo de la pujante actividad de los investigadores de la Universidad de Granada en distintos campos de la Ciencia.

Estos microscopios no solo tienen la función de apoyar la investigación científica sino que también son utilizados para apoyar la docencia práctica de la Universidad de Granada, en el caso concreto de los estudiantes de la Facultad de Farmacia. Es preciso que nuestros estudiantes conozcan los equipos que permiten alcanzar límites insospechados en el análisis de los materiales. Y entiendan, por ejemplo, que el polvo de talco es algo más que una nube de partículas de color claro. O en el caso de los suelos entiendan que el suelo no es solo el espacio que nos ensucia o embarra los zapatos, a veces molesto, a los criados en las ciudades. Es necesario que conozcan que en la morfología íntima de las partículas de talco se halla la clave de su uso en Farmacia o cómo al estudiar en detalle la morfología de la masa del suelo y de los granos minerales que la constituyen podemos inferir sus lentos procesos de formación y que en el suelo se desarrolla la vida y que contiene a su vez las soluciones para múltiples problemas de orden farmacológico, nutricional o industrial. Y es la microscopía electrónica el arma instrumental más potente en la actualidad para su conocimiento.

Francisco Javier Romero Mora

Catedrático de Óptica

Director del Centro de Instrumentación Científica (2008-2023)

Universidad de Granada (UGR)

Presentation

Soil contains life and electron microscopy provides us with in-depth understanding of this life. This book, from the professors of the University of Granada, Rafael Delgado Calvo-Flores and Juan Manuel Martín García, provides a very interesting collection of thematic research chapters, revealing both the scope of certain research in the field of mineral matter, and the use of electron microscopes to unravel the mysteries of Nature. It offers clear and illustrative examples of this.

The progress of the Natural Sciences: Physics, Chemistry, Biology and Geology, or each of their parts, has required instruments that enable the human being to see the composition of matter, which has led to the development of instruments, which, in principle, are mostly optical. These include telescopes to observe large and distant objects and delve into the universe. For smaller and closer objects, magnifying glasses, known as simple microscopes, were developed, followed by compound microscopes, or simply “microscopes”. These have allowed us to observe beyond the resolution limit of the human eye, in theory at a magnification of one to two thousand, although with some limitations. These devices helped cross the threshold from millimetric to micrometric measurements. In addition, the attachment of cameras to these devices has allowed the recording of the images observed, eliminating the need to memorize and reproduce observations.

In the second half of the 20th century, a new trend emerged, exceeding the magnification limits of conventional microscopes. The development of quantum physics and in particular, the arrival of wave-corpuscle duality, allowed us to theoretically pass from optical wavelengths to much smaller ones, and thus increase the resolution limit in the images obtained. To do this, the light/lens pairing of optical microscopes is switched to the electron beam/electro-magnetic lens pairing in electronic microscopes. This goes beyond ‘micro’ to ‘nano’ and even further: resolutions below the angstrom’s size.

In addition, electron microscopy has the capacity to go beyond the capture and recording of the images of the smallest objects, such as those that allow the analysis of matter by revealing its elemental composition and structure. This is carried out with devices that allow us to analyze the X rays emitted by a sample due to electron bombardment, backscattered electrons and other accessories that form electron microscopes, staking their place as far more than mere imaging devices.

This is possible with both TEM, transmission electron microscopes and SEM, scanning electron microscopes, which are the fundamental part of this book. The latter enables us to obtain valuable images of both inorganic matter and living beings, which simulate the third dimension, extraordinary examples of which are presented in the chapters of this book. Admittedly, obtaining truly three-dimensional microscopic images is still a technological challenge, although holographic devices or FIB are already available, which bring us a step closer.

This book, for which I have the honor of writing the Presentation, contains contributions from research projects into soils and materials of health interest that have required scanning electron microscopy, or SEM, conducted by researchers from the RMN127 group of the Department of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Faculty of Pharmacy at the University of Granada. Given the national and international connections involved in the activity of any worthy scientific research group, contributions from other authors at the University of Granada, as well as other national and foreign centers, are also included.

This book is a very complete work on its subject, since it contains not only articles related to research into soil morphology and different types of materials, such as talc, clay, quartz, iberulites, or biominerals, but also chapters devoted to the history of microscopy in general and electron microscopy in particular, and a description of the elements of a scanning electron microscope. It also includes a chapter on the treatment and digital enhancement of images captured. It therefore covers the basics, all the way through to the techniques applied to research on topics as wide-ranging as biomineralization, the concept of the SEM fabric of soils, or application of SEM to different materials of health or industrial interest. This is illustrated throughout with a great abundance of images obtained through electron microscopy, which makes this book a real textbook of images, perhaps one of the key objectives achieved with its publication.

However, as its first editor indicates in the Historical Background, this book is also a tribute to Professor Miguel Delgado Rodríguez, who was an incredible driving force behind the use of optical microscopy and its application to the study of soil morphology at the University of Granada. This professor was one of the few pioneers who, in the second half of the twentieth century, made incredible efforts to further science in Spain, allowing it to go from a country where research was scarce, sometimes entirely limited to universities, to a present reality where it is inconceivable for Western countries not to produce their own scientific research. This was achieved with few resources, but with great willingness. The seeds Mr. Miguel sowed with his work were reaped in the Soil Science Department of the Faculty of Pharmacy, with the natural evolution that involved moving from optical microscopy to electronics. The acquisition in 1985 of the first Hitachi SEM electron microscope at the Faculty of Pharmacy, which is still in service, was fundamental. It was placed under the responsibility of Professor Rafael Delgado Calvo-Flores, who brought great enthusiasm and tireless energy to the role, with

the subsequent help of the exceptional technician Doctor Rocío Márquez Crespo, who is also a key contributor to this book. The years of work stemming from the use of this equipment and its subsequent improvements is reflected throughout the pages of this book.

The year 2010 brought a key milestone, thanks to the support of the then-Rector of the University of Granada, Professor Francisco González Lodeiro, and the indisputable broad-mindedness of Professor Rafael Delgado Calvo-Flores and then-Dean of the Faculty of Pharmacy, Professor Luis Recalde Manrique. The headquarters of the Scientific Instrumentation Center at the University of Granada (CIC-UGR) was created within the Faculty of Pharmacy, composed of two units: one for chemical analysis techniques and another, the one that interests us in this case, for electron microscopy, which took on the management of the previously mentioned Hitachi microscope. This unit has since grown, and in addition to the aforementioned Hitachi microscope, now also boasts a Zeiss Gemini SEM microscope, along with a recently acquired Tescan FIB-SEM. These acquisitions further reflect the thriving activity of researchers from the University of Granada in different fields of Science.

These microscopes not only serve to support scientific research but are also used to assist with practical teaching of the University of Granada, particularly for students at the Faculty of Pharmacy. Our students need to be familiar with the equipment that allows us to reach unprecedented heights in the field of material analysis, and understand, for example, that talcum powder is more than just a cloud of light-colored particles; or in the case of soil, that it is far more than an annoying, dirty substance that muddies our shoes. They must understand that the intimate morphology of talc particles is the key to its use in Pharmacy, or that by closely studying the morphology of the soil mass and the mineral grains forming it, we can deduce its slow formation processes. They must appreciate that life develops within soil, and that it therefore contains solutions to a number of pharmacological, nutritional or industrial problems. Above all, they must comprehend that in today's age, electron microscopy is the most powerful weapon for furthering their knowledge.

Francisco Javier Romero Mora

Professor of Optics

Director of the Centre for Scientific Instrumentation (2008-2023)

University of Granada (UGR)

Autores de los capítulos

Chapter Authors

AGUILAR TORRES, VERÓNICA.

Graduada en Farmacia.

BECH BORRÁS, JAUME. Catedrático de Universidad. Universidad de Barcelona. Reales Academias de Medicina, Farmacia, Veterinaria y Ciencias y Artes de Cataluña. jaumebchborras@gmail.com.

CALERO GONZÁLEZ, JULIO. Profesor Titular del Universidad. Departamento de Geología de la Universidad de Jaén. jcalero@ujaen.es.

CARRETERO LEÓN, MARÍA ISABEL.

Catedrático de Universidad. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Sevilla. carre@us.es.

CASTRO AGUILA, JESÚS. Licenciado en Farmacia. jcastro@gmail.com.

CASTRO SÁNCHEZ, MARCIAL. Licenciado en Historia Moderna por la Universidad de Valladolid., Profesor de Enseñanza Secundaria, IES Virgen de las Nieves de Granada. marcialcastro@hotmail.com.

CERVERA MATA, ANA GLORIA. Doctor en Nutrición y Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Investigador del Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. anacervera@ugr.es.

COSTA, PEDRO J. M. DA. Profesor Auxiliar. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Coimbra. Investigador del Instituto Dom Luiz, Universidad de Lisboa. ppcosta@dct.uc.pt.

DEL MORAL GARCÍA, ANA ISABEL.

Catedrático de Universidad. Departamento de Microbiología, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. Academia Iberoamericana de Farmacia. admoral@ugr.es.

DELGADO CALVO-FLORES, GABRIEL.

Catedrático de Universidad. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. gdelgado@ugr.es.

DELGADO CALVO-FLORES, RAFAEL.

Catedrático de Universidad. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. Reales Academias de Medicina y Cirugía de Andalucía Oriental, Ceuta y Melilla, y Farmacia de Cataluña. rdelgado@ugr.es.

DORRONSORO FERNÁNDEZ, CARLOS.

Catedrático de Universidad. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. cfdorron@gmail.com.

FERNÁNDEZ-ARTEAGA, ALEJANDRO.

Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. jandro@ugr.es.

FERNÁNDEZ-BAYO, JESÚS DIONISIO.

Investigador contratado. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. jdfbayo@ugr.es.

FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, MARÍA VIRGINIA.

Profesor Ayudante Doctor de Universidad. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. mvirginiafernandez@ugr.es.

FERNÁNDEZ-URBÁN, JORDI. Doctor en Ciencias Químicas, especialidad Química del Estado Sólido por la Universitat de Barcelona (2004). R&D Manager – Especialista en Ultramarinos. jordi.fernandezurban@vibrantz.com.

GÁMIZ MARTÍN, ENCARNACIÓN. Profesor Titular Universidad. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. encagamiz@gmail.com.

GOMES, CELSO. Catedrático. Departamento de GeoCiencias. Universidade de Aveiro. cgomes@ua.pt.

LARA-RAMOS, LESLIE. Doctor en Química. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. llara@correo.ugr.es.

LORENTE ACOSTA, JOSÉ ANTONIO. Catedrático de Universidad. Departamento de Medicina Legal y Toxicología, Facultad de Medicina, Universidad de Granada. jlorente@ugr.es.

MARAVER EIZAGUIRRE, FRANCISCO. Catedrático de Universidad. Cátedra de Hidrología Médica. Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid. Real Academia de Medicina y Cirugía de Andalucía Oriental, Ceuta y Melilla. fmaraver@med.ucm.es.

MÁRQUEZ CRESPO, ROCÍO. Doctor en Ciencias y Tecnología del Medioambiente. Titulado Superior de Apoyo a la Docencia y a la Investigación. Centro de Instrumentación Científica, Universidad de Granada. semfarma@ugr.es.

MARTÍN-GARCÍA, JUAN MANUEL. Profesor Titular Universidad. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. jmmartingarcia@ugr.es.

MARTÍN RODRÍGUEZ, FRANCISCO JAVIER. Técnico Superior de Investigación del Instituto de Ciencias de la Tierra. Consejo Superior de Investigaciones Científicas-Universidad de Granada. fj.martin@csic.es.

MELGOSA LATORRE, MANUEL. Catedrático de Universidad. Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. melgosa@ugr.es.

MOLINA-FERNÁNDEZ, LOLA. Doctor en Farmacia. Titulado Superior de Apoyo a la Docencia y a la Investigación. Centro de Instrumentación Científica, Universidad de Granada. lolamolina@ugr.es.

MOLINERO-GARCÍA, ALBERTO. Doctor en Ciencias de la Tierra. Investigador Contratado. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. amolinerogarcia@ugr.es.

MONDINI, CLAUDIO. Investigador en la Universidad de Udine, Rama de Gorizia, Italia. Centro de Investigación para la Viticultura y Enología. Consejo para la Investigación Agronómica y Económica (CREA). claudio.mondini@crea.gov.it.

MÜLLER, AXEL. Catedrático de Universidad. University of Oslo, Natural History Museum of Oslo, Noruega. Natural History Museum of Londres. Reino Unido. London United Kingdom. a.b.mueller@nhm.uio.no.

NAVARRO NIEVA, AZAHARA. Doctor en Medioambiente y Salud Humana. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. mnavarro796@ugr.es.

OYONARTE GUTIÉRREZ, CECILIO. Profesor Titular de Universidad. Departamento de Agronomía. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Almería. coyonart@ual.es.

PARVIAINEN, ANNIKA JENNI JOHANNA. Investigador contratado. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. aparviainen@ugr.es.

PÁRRAGA MARTÍNEZ, JESÚS. Catedrático de Universidad. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. jparraga@ugr.es.

POZO RODRÍGUEZ, MANUEL. Catedrático de Universidad. Departamento de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Madrid. manuel.pozo@uam.es.

RAMOS CORMENZANA, ALBERTO. Catedrático de Universidad. Departamento de Microbiología, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. Academia Iberoamericana de Farmacia. ramosca@ugr.es.

RAURELL, RICARD MARCH. Doctor en Químicas, especialidad Química Inorgánica por la Universitat Autònoma de Barcelona (1998). Global Technology Manager – Pigmentos. ricard.march@vibrantz.com

RIVADENEYRA RUIZ, MARÍA ANGUSTIAS. Catedrático de Universidad. Departamento de Microbiología, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. mrivaden@ugr.es.

ROMERO MORA, FRANCISCO JAVIER. Catedrático de Universidad Departamento de Óptica, Facultad de Ciencias, Director del Centro de Instrumentación Científica (2008-2023), Universidad de Granada. Real Academia de Ciencias Matemáticas, Físico-Químicas y Naturales de Granada. Presidente de la International Color Association, bienio 2014-2015. jromero@ugr.es.

RUIZ MARTÍNEZ, ADOLFINA. Catedrático de Universidad. Departamento de Farmacia y Tecnología Farmacéutica, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. Academia Iberoamericana de Farmacia. adolfina@ugr.es.

SÁNCHEZ-MARAÑÓN, MANUEL. Catedrático de Universidad. Departamento de Edafología y Química Agrícola, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada. msm@ugr.es.

SIMONSEN, SIRI. Doctor Ingeniero Senior. Departamento de Geociencias, Universidad de Oslo, Noruega. siri.simonsen@geo.uio.no.

SORIANO RODRÍGUEZ, MIGUEL. Profesor Titular de Universidad. Departamento de Agronomía. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Almería. msoriano@ual.es.

VÁZQUEZ ARIAS, ANTÓN. Alumno del doctorado. Universidade de Santiago de Compostela, CRETUS Institute, Departamento de Biología Funcional, Santiago de Compostela, Spain. antonvazquez.arias@usc.es.

ZULUAGA GÓMEZ, ARMANDO. Catedrático de Universidad. Departamento de Urología, Facultad de Medicina, Universidad de Granada. Real Academia de Medicina y Cirugía de Andalucía Oriental, Ceuta y Melilla. azulugagomez@hotmail.com.

Acrónimos empleados

Acronyms used

3D - Tridimensional. *Three-dimensional*

ACP - Análisis estadístico de componentes principales. *Statistical analysis of principal components.*

ADC - Convertidor analógico-digital. *Analog-to-digital converter.*

B/N - Diseño binario blanco-negro. *Black-white binary design.*

BB - Biomineralización bacteriana. *Bacterial biomineralization.*

BBC - Biomineralizaciones controladas. *Controlled biomineralizations.*

BBI - Biomineralizaciones inducidas. *Induced biomineralizations.*

BHM - Bacterias halófilas moderadas. *Moderate halophiles bacterias.*

BSE - Electrones retrodispersados. *Backscattered electrons.*

BSE-SUPRA - Señal de electrones retrodispersados en microscopio VPFESEM-SUPRA. *Backscattered electrons signal in VPFESEM-SUPRA microscope.*

CIC-UGR - Centro de Instrumentación Científica de la Universidad de Granada (España). *Scientific Instrumentation Center from University of Granada (Spain).*

CL - Catodoluminiscencia. *Cathodoluminescence.*

CRT - Tubo de rayos catódicos. *Cathode ray tube.*

CRYO-LYOPH - Preparación de muestras combinando congelación y liofilización secuenciadas. *Sample preparation with a double-sequenced process of cryo-lyophilization.*

CSIC - Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). *Spanish National Research Council.*

EDX - Microanálisis por espectroscopía de energía dispersiva de Rayos X. *Microanalysis by energy dispersive X-ray spectroscopy.*

EDX-ER - Microanálisis (Edwin Röntec) acoplado al microscopio SEM Hitachi S-510. *Microanalysis (Edwin Röntec) attached to the SEM HITACHI S-510 microscope.*

EDX-OXFORD10 - Microanálisis (OXFORD 10) acoplado al microscopio FESEM-GEMINI. *Microanalysis (OXFORD 10) attached to the FESEM-GEMINI microscope.*

EDX-OXFORD50 - Microanálisis (OXFORD 50) acoplado al microscopio VPFESEM-SUPRA. *Microanalysis (OXFORD 50) attached to the VPFESEM-SUPRA microscope.*

EPS - Sustancias poliméricas extracelulares. *Extracellular Polymeric Substances.*

E-T - Detector Everhart-Thornley. *Everhart-Thornley detector.*

Fecd - Hierro pelicular superficial extraído con citrato-ditionito. *Superficial film iron, extracted with citrate-dithionite.*

FESEM - Microscopía Electrónica de Barrido de emisión de campo. *Field Emission Scanning Electron Microscopy.*

FESEM-GEMINI - Microscopio electrónico de barrido FESEM Leo 1530, Gemini, Zeiss. *Scanning Electron Microscope FESEM Leo 1530, Gemini, Zeiss.*

- HEUR** - Tratamiento (dibujo y diseño binario) heurístico de las imágenes. *Heuristic treatment (drawing and binary design) of images.*
- HRTEM** - Microscopía electrónica de transmisión de alta resolución. *High resolution transmission electron microscopy.*
- HTC** - Carbonización hidrotermal. *Hydrothermal carbonization.*
- IA** - Análisis de imagen. *Image analysis.*
- ICP-MS** - Espectroscopia de masas con plasma acoplado inductivamente. *Mass spectroscopy with inductively coupled plasma.*
- IMAGEJ** - Análisis de imagen con el programa informático ImageJ. *Image analysis with the ImageJ software.*
- INLENS-SUPRA** - Señal de electrones secundarios detectados con detector en columna, en microscopio VPFESEM-SUPRA. *Secondary electrons signal detected with in-column detector, in VPFESEM-SUPRA microscope.*
- IR** - Espectroscopia de radiación infrarroja. *Spectroscopy of infrared radiation.*
- LA-ICP-MS** - Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento Inductivo de ablacion laser. *Laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry*
- MAS** - NMR - Espectroscopia NMR en ángulo mágico. *NMR spectroscopy in magic-angle spinning.*
- MET-AU** - Metalización de la muestra con Au. *Metal coating of the sample with Au.*
- MET-C** - Metalización de la muestra con C. *Metal coating of the sample with C.*
- MH** - Medio de cultivo microbiológico agar-Mueller-Hinton. *Microbiological culture medium agar-Mueller-Hinton.*
- MS** - Concha de moluscos. *Mollusc shells.*
- PM 2,5** - Material particulado (en el aire) con diámetro < 2,5 μm . *Particulate matter (in air) with diameter < 2,5 μm .*
- PM10** - Material particulado (en el aire) con diámetro < 10 μm . *Particulate matter (in air) with diameter < 10 μm .*
- PTES** - Elementos potencialmente tóxicos. *Potentially toxic elements.*
- RAMAN** - Espectroscopia Raman asociada al microscopio VPFESEM-SUPRA. *Raman spectroscopy attached to the VPFESEM-SUPRA microscope.*
- SAED-PATTERN** - Análisis de patrones de difracción de electrones en áreas seleccionadas. *Pattern analysis of Electron Diffraction in Selected Area.*
- SCG** - Posos de café. *Spent coffee grounds.*
- SE** - Electrones secundarios. *Secondary electron.*
- SEM** - Microscopía Electrónica de Barrido. *Scanning Electron Microscopy.*
- SEM-CL** - Análisis de catodoluminiscencia acoplado al SEM. *Catodoluminescence analysis attached to SEM.*
- SEM-EDX** - Microscopía Electrónica de Barrido con microanálisis de energía dispersiva de rayos X. *Scanning Electron Microscopy with energy dispersive X-ray microanalysis.*
- SEM-EDX-IA** - Uso combinado de SEM, EDX y IA. *Joint use of SEM, EDX and IA.*
- SEM-H-510** - Microscopio electrónico de barrido Hitachi S-510. *Scanning electron microscope Hitachi S-510.*
- SEM-H-510-DIG** - Imágenes captadas digitalmente (ScanVision) en SEM-H-510. *Digitally captured images (ScanVision) in SEM-H-510.*
- SEM-H-510-FOT** - Imágenes captadas fotográficamente en SEM-H-510, posteriormente escaneadas a alta definición. *Photographically captured images in SEM-H-510, later scanned at high definition.*

SEM–HRTEM–IA - Empleo conjunto secuenciado y comparativo de SEM, HRTEM y IA. *Joint sequenced-comparative use of SEM, HRTEM and IA.*

TEM - Microscopía electrónica de transmisión. *Transmission electron microscopy.*

TR - Terra rossa. *Terra rossa*

UGR - Universidad de Granada (España). *University of Granada (Spain).*

VPFESEM–SUPRA - Microscopio electrónico de barrido VPFESEM SUPRA40VP Zeiss. *Scanning Electron Microscope VPFESEM SUPRA40VP Zeiss.*

WDS - Espectrometría de longitud de onda dispersiva. *Wavelength-Dispersive Spectrometry.*

XRD - Análisis mineralógico por difracción de rayos X. *Mineralogical analysis by X-ray diffraction*

XRF - Análisis químico elemental por fluorescencia de rayos X. *Elemental chemical analysis by X-ray fluorescence.*

μRAMAN - Espectroscopía Micro-Raman. *Micro-Raman Spectroscopy.*

μXRF-RS - Microfluorescencia de rayos X con Radiación Sincrotrón. *X-ray Microfluorescence with Synchrotron Radiation.*

Símbolos

Symbols

Empleados en las figuras de este libro
Used in the figures in this book

GRUPO 1. SECCIONES DE LA PROPIA FIGURA / GROUP 1. SECTIONS OF THE FIGURE ITSELF

A, B, C, D, O, I...
(Letras mayúsculas /
Capital letters)

Identificación de zonas distintas de las imágenes. A veces empleadas para ubicar caracteres inespecíficos /
Identification of different areas of the images. Sometimes used to locate non-specific characters.

a, b, c...
(Letras minúsculas
Lower case letters)

Subdivisión de imágenes compuestas por varias partes: derecha-izquierda, exterior-interior, capas sucesivas, etc. /
Subdivision of images composed of several parts: right-left, exterior-interior, successive layers, etc.

1, 2, 3...
(Números árabes /
Arabic numbers)

También empleados para señalar distintas partes en la imagen /
Also used to point out different parts in the image.

Flechas, recuadros, círculos, cuadrados, rectángulos o líneas de puntos /
Arrows, boxes, circles, squares, rectangles, or dotted lines

Para resaltar detalles y principalmente áreas bajo observación a mayor magnificación /
To highlight and point out details, and mainly areas under observation at higher magnification.

GRUPO 2. TÉCNICAS DE ESTUDIO / GROUP 2. STUDY TECHNIQUES

1, 2, 3...
(Números árabes /
Arabic numbers)

Identificación de las zonas de microanálisis EDX y su correspondiente espectro / *Identification of the microanalyzed zone and its corresponding EDX spectrum.*

EDX, SE, BSE, HEUR...

Acrónimos de las técnicas /
Acronyms of the techniques

GRUPO 3. MINERALES Y ROCAS /
GROUP 3. MINERALS AND ROCKS

Abreviaturas de minerales de Whitney & Evans (2010), signadas con (*). Cuando no aparecían los minerales en dicha relación o existían incompatibilidades con otras abreviaturas, hemos desarrollado símbolos propios. Whitney & Evans (2010)¹ Minerals Abbreviations marked with (*). When we find no symbols in that relationship or there were incompatibilities with other abbreviations, we developed our own symbols.

Aph	Anfiboles / <i>Amphiboles</i>	Phl	Filita / <i>Phyllite</i>
Biot	Biotita / <i>Biotite</i>	Phy	Filosilicatos / <i>Phyllosilicates</i>
Calc (*)	Calcita / <i>Calcite</i>	Plg	Plagioclasas / <i>Plagioclases</i>
Chal	Calcedonia / <i>Chalcedony</i>	Py (*)	Pirita / <i>Pyrite</i>
Chl	Clorita (grupo) / <i>Chlorite</i>	Qz (*)	Cuarzo / <i>Quartz</i>
Dol (*)	Dolomita / <i>Dolomite</i>	Qz mon	Cuarzo monocristalino / <i>Monocrystalline quartz</i>
Fdk	Feldespató potásico / <i>Potassium feldspar</i>	Qz pol	Cuarzo policristalino / <i>Polycrystalline quartz</i>
Fe-ox	Oxihidróxidos de Fe / <i>Fe ox(hydroxi)des</i>	Qzte	Cuarcita / <i>Quartzite</i>
Gp (*)	Yeso / <i>Gypsum</i>	Sch	Esquistó / <i>Schist</i>
Gth (*)	Goethita / <i>Goethite</i>	Sl	Sales / <i>Salts</i>
Hal (*)	Halita / <i>Halite</i>	Sme (*)	Esmectita (sin especificar el catión) / <i>Smectite (not specifying cation)</i>
Jrs (*)	Jarosita / <i>Jarosite</i>	Spc	Sulfato de calcio / <i>Calcium sulphate</i>
Kln (*)	Caolinita / <i>Kaolinite</i>	Sw	Schwertmanita / <i>Schwertmanite</i>
Mcs	Micasquisto / <i>Mica schist</i>	Tlc (*)	Talco / <i>Talc</i>
Mic	Mica / <i>Mica</i>		
Peds	Agregados edáficos / <i>Soil aggregates</i>		
Phc	Fosfato de calcio / <i>Calcium phosphate</i>		

GRUPO 4. RASGOS CRISTALOGRAFICOS Y RELACIONADOS /
GROUP 4. CRYSTALLOGRAPHIC AND RELATED FEATURES

Empleados en componentes de naturaleza mineral, considerando formas cristalinas, caras, hábitos, simetría, agregados de cristales, meteorización, etc.

Used in components of mineral nature, considering crystalline forms, faces, habits, symmetry, aggregates of crystals, weathering, etc.

Cra	Cristales aciculares, cristales fibrosos / <i>Acicular crystals, fibrous crystals</i>	Llf	Láminas curvadas y apiladas (en talco) / <i>Curved and stacked sheets (in talc)</i>
Crb	Agregación framboidal de cristales / <i>Framboidal aggregation of crystals</i>	Llm	Láminas fundidas (en metacaolinita) / <i>Fused sheets (in metakaolinite)</i>
Crd	Drusas de cristales / <i>Crystal druses</i>	Llv	Pila vermicular de láminas (en caolinita) / <i>Vermicular stack (in metakaolinite)</i>
Cre	Cristales de simetría hexagonal / <i>Crystals of hexagonal symmetry</i>	Mf	Material fisurado / <i>Fissured material</i>
Crf	Caras de cristal / <i>Crystal faces</i>	Ms	Material masivo / <i>Massive material</i>
Crh	Agregación esferulítica de cristales, unidades esferoidales (en lazuritas) / <i>Spherulitic aggregation of crystals, spheroidal units (in lazurites)</i>	Msa	Material con aspecto amontonado / <i>Material with a stacked appearance</i>
Crs	Cristal, cristales / <i>Crystal, crystals</i>	Por	Poros, huecos (en metacaolinitas) / <i>Pores, holes (in metakaolinites)</i>
Crt	Cristales de simetría trigonal / <i>Crystals of trigonal symmetry</i>	Pr	Prisma, prismático / <i>Prism, prismatic</i>
D	Disolución en bordes / <i>Dissolution by the edges</i>	Pra	Agregación de cristales fibroso-radiada / <i>Aggregation of fibrous-radiated crystals</i>
D110	Disolución por caras 110 (en anfíboles) / <i>Dissolving by 110 faces (in amphiboles)</i>	Rbd	Romboedro, caras de romboedro / <i>Rhombohedron, faces of rhombohedron</i>
D110	Disolución por caras 110 (en anfíboles) / <i>Dissolving by 110 faces (in amphiboles)</i>	Tp	Plano de macla / <i>Twin plane</i>
Eff	Exfoliación fibrilar / <i>Fibrillar exfoliation</i>	W	Meteorización / <i>Weathering</i>
Exf	Exfoliación, exfoliable / <i>Exfoliation, exfoliable</i>	Wil	Meteorización (fracturación) de la roca en paquetes de láminas / <i>Weathering (fracturing) of the rock in lamina packs</i>
Fb	Fibras, partículas de talco de morfología fibrilar / <i>Fibres, talc particles of fibrillar morphology</i>	Wtp	Meteorización (fracturación y ataque químico) de la roca en unidades pseudopoliédricas / <i>Weathering (fracturing and chemical alteration) of rock in pseudopolyhedral units</i>
bk0	Notación de caras de cristal (e.g. 1010) / <i>Notation of crystal faces (e.g. 1010)</i>		
LI	Láminas, laminaciones, apilamiento de láminas, partículas laminares / <i>Sheets, laminations, sheet stacking, laminar particles</i>		

GRUPO 5. ELEMENTOS DEFINITORIOS DE LA ULTRAMICROFÁBRICA DEL SUELO,
RASGOS DE PEDOPROCESOS. APLICABLES TAMBIÉN A PELOIDES /
GROUP 5. DEFINING ELEMENTS OF THE SOIL ULTRAMICROFABRIC,
PEDOPROCESS TRAITS. ALSO APPLICABLE TO PELOIDS

bd	Puentes secundarios de cemento / <i>Secondary cement bridges.</i>	mag	Microagregado / <i>Microaggregate</i>
cdk	Celdas por agregación de plaquetas de esqueleto / <i>Cells by aggregation of skeleton platelets</i>	mpd	Microagregado de formas mamelonadas / <i>Microaggregate with mamelon shapes</i>
clt	Clusters / <i>Clusters</i>	os	Partículas laminares de limo orientado / <i>Lamellar oriented silt particles</i>
cmt	Cementación, cementos, puentes de cemento / <i>Cementation, cements, cement bridges</i>	Ph	Placas micáceas tamaño limo y arcilla / <i>Silt and clay sized micaceous flat particles</i>
dm	Dominios / <i>Domains</i>	plt	Plaquetas / <i>Plates</i>
dmf	Dominios laminares de tamaño arcilla y limo fino / <i>Clay and fine silt-sized laminae domains</i>	por	Poros, porosidad, poroso / <i>Pore, porosity, porous</i>
f-e	Uniones cara-borde / <i>Face-edge joints</i>	sk	Granos de esqueleto / <i>Skeletal grains</i>
f-f	Uniones cara-cara / <i>Face-face joints</i>	slk	Slickensides / <i>Slickensides</i>
fnf	Arena fina / <i>Fine sand</i>	slt	Limo / <i>Silt</i>
fsl	Limo fino / <i>Fine silt</i>	snd	Arena gruesa / <i>Coarse sand</i>
liv	Zonas de lavado-iluviación / <i>Wash-illuviation zones</i>	spd	Micropeds pseudoesféricos / <i>Pseudospheric micropeds</i>
lls	Láminas, apilamiento de láminas, partículas laminares / <i>Sheets, sheet stacking, laminar partides</i>	td	Tactoides / <i>Tactoids</i>
		zpd	Micropeds / <i>Micropeds</i>

**GRUPO 6. RASGOS SUPERFICIALES EN GRANOS DE CUARZO Y OTROS MINERALES /
GROUP 6. SURFACE FEATURES IN QUARTZ GRAINS AND OTHER MINERALS**

<i>be</i>	Bordes bulbosos / <i>Bulbous edges</i>	<i>pls</i>	Líneas paralelas y escalones / <i>Parallel lines and steps</i>
<i>dt</i>	Rasgos de disolución / <i>Dissolution traits</i>	<i>pm</i>	Marcas de golpes / <i>Percussion marks</i>
<i>fc</i>	Fractura concoide / <i>Conchoidal fracture</i>	<i>ps</i>	Superficie pulida / <i>Polished Surface</i>
<i>ff</i>	Caras de fractura / <i>Fracture faces</i>	<i>rcf</i>	Reminiscencias de caras de cristal / <i>Reminiscences of crystal faces</i>
<i>fg</i>	Caras de crecimiento / <i>Face growth</i>	<i>saf</i>	Bordes angulares agudos / <i>Sharp angular features</i>
<i>ib</i>	Orificios por impacto / <i>Impact holes</i>	<i>sg</i>	Surcos rectos / <i>Straight grooves</i>
<i>ls</i>	Escalones lineales / <i>Linear steps</i>	<i>spe</i>	Películas de sílice / <i>Silica film</i>
<i>mup</i>	Placas de sílice levantadas mecánicamente / <i>Mechanically upturned silica plates</i>	<i>up</i>	Placas de sílice levantadas / <i>Upturned silica</i>
<i>oep</i>	Campos de huellas de disolución orientadas / <i>Oriented etch pits fields</i>	<i>vc</i>	Vacuola / <i>Vacuole</i>
		<i>Vs</i>	Marcas de percusión en forma de V / <i>V-shaped percussion</i>

**GRUPO 7. RASGOS BIOLÓGICOS (ORGANISMOS, SUS PARTES) Y RELACIONADOS (BIOLITOS BACTERIANOS, POSOS DE CAFÉ) /
GROUP 7. BIOLOGICAL TRAITS (ORGANISMS, THEIR PARTS) AND
RELATED TRAITS (BACTERIAL BIOLITES, COFFEE GROUNDS)**

BC	Colonias bacterianas / <i>Bacterial colonies</i>	GG	Surcos / <i>Grooves</i>
BLZ	Zonación en biolitos bacterianos / <i>Zonation in bacterial bioliths</i>	HCH	Oquedades y canales en tejido óseo / <i>Holes and channels in bone tissue</i>
BR	Brocosoma / <i>Brochosome</i>	HH	Huecos en tejido óseo (descalcificación) / <i>Bone tissue holes (decalcification)</i>
CBC	Cuerpo bacteriano calcificado / <i>Calcified bacterial body</i>	HP	Hifas de hongos / <i>Fungal hyphae</i>
CBL	Biolitos bacterianos cubiertos externamente / <i>Externally covered bacterial bioliths</i>	IPR	Estructura interior fibroso-radiada / <i>Fibrous-radiated interior structure</i>
CBU	Unión de cuerpos bacterianos por los extremos formando cadenas / <i>Binding of bacterial bodies at the ends forming chains</i>	MO	Material orgánico / <i>Organic material</i>
CC	Celdillas / <i>Cell</i>	NB	Nanobacterias / <i>Nanobacteria</i>
CLU	Unión de cuerpos bacterianos por los laterales / <i>Union of bacterial bodies on the sides</i>	PG	Granos de polen / <i>Pollen grains</i>
CT	Cutículas / <i>Cuticles</i>	PP	Poros o material poroso (de origen biológico) / <i>Pores or porous material (of biological origin)</i>
DR	Residuos de degradación / <i>Degradation residues</i>	SBL	Superficie de biolito bacteriano / <i>Surface of a bacterial biolith</i>
DT	Diatomea / <i>Diatom</i>	SCG	Posos de café / <i>Coffee grounds</i>
EPS	Exopolisacáridos / <i>Exopolysaccharides</i>	TCB	Trazas de cuerpos bacterianos calcificados / <i>Traces of calcified bacterial bodies</i>
FM	Material de relleno residual / <i>Filler material, residual</i>	UBL	Superficie de biolito bacteriano, porosa, no cubierta externamente / <i>Bacterial biolith surface, porous, without external cover</i>
FR	Fragmento de biolito / <i>Fragment of biolite</i>	VD	Restos vegetales / <i>Vegetable remains</i>
FS	Espora fúngica / <i>Fungal spore</i>	WW	Vasos vegetales / <i>Vegetable vessels</i>

GRUPO 8. CONCHAS DE MOLUSCOS (Y CÁSCARA DE HUEVO) /
GROUP 8. MOLLUSK SHELLS (AND EGG SHELLS)

apr	Abertura / <i>Aperture</i>	mam	Capa mamillar (huevo) / <i>Mamillary layer (egg)</i>
arc	Arcos transversales / <i>Transverse arcs</i>	mem	Membrana de la cáscara (huevo) / <i>Shell membrane (egg)</i>
con	Capa continua (huevo) / <i>Continuous layer (egg)</i>	paq	Paquetes de varillas/ <i>cristales</i> (aragonito/ <i>calcita</i>) / <i>Bundles of rods/crystals (aragonite/calcite)</i>
cont	Contacto neto / <i>Net contact</i>	pil	Pilares (aragonito, capa nacarada) / <i>Pillars (aragonite, in nacreous layer)</i>
cts	Cóstulas / <i>Ribs</i>	plg	Pliegues / <i>Pleats</i>
esp	Espira / <i>Whorl</i>	prs	Protoconcha / <i>Protoconch</i>
ext	Capa exterior / <i>Outer layer</i>	str	Sutura / <i>Suture</i>
inn	Capa interior (interior) / <i>Inner layer</i>	unc	Unidades de cascara (huevo) / <i>Shell units (egg)</i>
lcr	Líneas de crecimiento / <i>Growth lines</i>	var	Varillas de aragonito / <i>Rod of aragonite</i>
lms	Lamelas (en microestructura) / <i>Lamellas (in microstructure)</i>		

GRUPO 9. IBERULITOS /
GROUP 9. IBERULITES

Icr	Corteza / <i>Crust</i>
lys	Capas (filosilicatos) / <i>Layers (phyllosilicates)</i>
NI	Núcleo interior / <i>Core</i>
Vr	Vórtex / <i>Vortex</i>

GRUPO 10. HORIZONTES DEL SUELO /
GROUP 10. SOIL HORIZONS

Ah	Horizonte A con acumulación de materia orgánica / <i>A horizon with accumulation of organic matter</i>	Bw3	Tercer horizonte B con desarrollo de color o estructura / <i>Third B horizon with development of colour or structure</i>
Ab1	Primer horizonte A enterrado / <i>First buried A horizon</i>	C	Horizonte C / <i>C horizon</i>
Ab2	Segundo horizonte A enterrado / <i>Second buried A horizon</i>	C1	Primer horizonte C / <i>First C horizon</i>
AB	Horizonte de transición de A a B / <i>Transitional horizon from A to B</i>	C2	Segundo horizonte C / <i>Second C horizon</i>
Ap	Horizonte A arado / <i>Plowed A horizon</i>	C3	Tercer horizonte C / <i>Third C horizon</i>
Ap1	Primer horizonte A arado / <i>First plowed A horizon</i>	C4	Cuarto horizonte C / <i>Fourth C horizon</i>
Ap2	Segundo horizonte A arado / <i>Second plowed A horizon</i>	C5	Quinto horizonte C / <i>Fifth C horizon</i>
Bt	Horizonte B con acumulación de arcilla iluvial / <i>B horizon with illuvial clay accumulation</i>	2Btb	Horizonte B con acumulación de arcilla iluvial y enterrado, desarrollado sobre un segundo tipo de material original / <i>Buried B horizon with illuvial clay accumulation, developed over a second type of parent material</i>
Btk	Horizonte B con acumulación de arcilla iluvial y carbonatos pedogenéticos / <i>B horizon with illuvial clay accumulation and pedogenetic carbonates</i>	2BtbC	Horizonte de transición de B con acumulación de arcilla iluvial y enterrado a C, desarrollado sobre un segundo tipo de material original / <i>Transitional horizon from buried B horizon with illuvial clay accumulation to C horizon, developed over a second type of parent material</i>
Bw	Horizonte B con desarrollo de color o estructura / <i>B horizon with development of colour or structure</i>	2CB1	Horizonte de transición de C a B, desarrollado sobre un segundo tipo de material original / <i>Transitional horizon from C to B horizon, developed over a second type of parent material</i>
Bw1	Primer horizonte B con desarrollo de color o estructura / <i>First B horizon with development of colour or structure</i>	2C	Horizonte C desarrollado sobre un segundo tipo de material original / <i>C horizon developed over a second type of parent material</i>
Bw2	Segundo horizonte B con desarrollo de color o estructura / <i>Second B horizon with development of colour or structure</i>		

Energías características de los elementos químicos en los espectros EDX

Characteristic energies of chemical elements in EDX spectra

Energías características (keV) de los fotones de rayos-X de los principales elementos químicos registrados con EDX en los estudios de este libro. Designación de las líneas características según el sistema Siegbahn¹. Voltajes de aceleración del haz de electrones: 20 y 25 kV.

X-ray photon characteristic energies (keV) of the main chemical elements recorded with EDX in the studies of this book. Designation of the characteristic lines according to the Siegbahn system¹. Electron beam acceleration voltages: 20 and 25 kV.

Elemento químico <i>Chemical element</i>	Número atómico <i>Atomic number (Z)</i>	Línea característica <i>Characteristic line</i>	Energía del fotón de rayos-X <i>X-ray photon energy (keV)</i>
C	6	$K\alpha_1$	0,277
O	8	$K\alpha_1$	0,526
Na	11	$K\alpha_1$	1,041
Mg	12	$K\alpha_1$	1,254
Al	13	$K\alpha_1$	1,487
Si	14	$K\alpha_1$	1,740
P	15	$K\alpha_1$	2,014
S	16	$K\alpha_1$	2,308
Cl	17	$K\alpha_1$	2,622
K	19	$K\alpha_1$	3,314

1 SIEGBAHN, M. (1916). Relations between the K and L Series of the High-Frequency Spectra. Nature, 96, 676.

Elemento químico <i>Chemical element</i>	Número atómico <i>Atomic number (Z)</i>	Línea característica <i>Characteristic line</i>	Energía del fotón de rayos-X <i>X-ray photon energy (keV)</i>
Ca	20	$K\alpha_1$	3,692
		$K\alpha_2$	3,688
		$L\alpha_1$	0,341
Ti	22	$K\alpha_1$	4,511
		$K\alpha_2$	4,505
		$L\alpha_1$	0,452
Mn	25	$K\alpha_1$	5,899
		$K\alpha_2$	5,888
		$L\alpha_1$	0,636
Fe	26	$K\alpha_1$	6,404
		$K\alpha_2$	6,391
		$L\alpha_1$	0,703
Cu	29	$K\alpha_1$	8,048
		$K\alpha_2$	8,028
		$L\alpha_1$	0,930
As	33	$K\alpha_1$	10,544
		$K\alpha_2$	10,508
		$L\alpha_1$	1,282
Sr	38	$K\alpha_1$	14,165
		$K\alpha_2$	14,098
		$L\alpha_1$	1,807
Zr	40	$K\alpha_1$	15,775
		$K\alpha_2$	15,691
		$L\alpha_1$	2,042
Ag	47	$K\alpha_1$	22,163
		$K\alpha_2$	21,991
		$L\alpha_1$	2,984
Ir	77	$L\alpha_1$	9,175
		$M\alpha_1$	1,980
Pt	78	$L\alpha_1$	9,442
		$M\alpha_1$	2,050
Au	79	$L\alpha_1$	9,713
		$M\alpha_1$	2,123
Hg	80	$L\alpha_1$	9,989
		$M\alpha_1$	2,195
Pb	82	$L\alpha_1$	10,552
		$M\alpha_1$	2,345

Índice

AGRADECIMIENTOS	VIII
PRESENTACIÓN	XI
AUTORES DE LOS CAPÍTULOS	XIX
ACRÓNIMOS EMPLEADOS	XXIII
SÍMBOLOS	XXVII
ENERGÍAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS EN LOS ESPECTROS EDX	XXXV

Antecedentes históricos.	1
-------------------------------	---

I PARTE

ASPECTOS GENERALES Y TÉCNICOS

1. FUNDAMENTOS

I.1.1 Generalidades sobre la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	31
I.1.2 Tratamiento artístico de las imágenes SEM	59
I.1.3 Ultramicrofábrica SEM del suelo. Una propuesta de estudio	73
I.1.4 Las arenas gruesas de los suelos españoles	115
I.1.5 El mineral cuarzo en los suelos	133
I.1.6 Minerales y salud	161
I.1.7 Biomineralización	171

2. ASPECTOS TÉCNICOS

I.2.1 Técnicas y equipos empleados	193
--	-----

II PARTE
APLICACIONES. ATLAS DE IMÁGENES

I. APROXIMACIÓN A LA ULTRAMICROMORFOLOGÍA DE SUELOS

II.1.1	Ultramicrofábrica de horizontes Bt en Terras Rossas italianas y españolas	222
II.1.2	Ultramicrofábrica de una cronosecuencia de Luvisoles, Calcisoles y Fluvisoles	234
II.1.3	Análisis cuantitativo del continuo ultramicrofábrica-nanofábrica: caso de una cronosecuencia de suelos	252
II.1.4	Ultramicrofábrica de los suelos de Sierra Nevada (Granada, España)	260
II.1.5	Relaciones calidad del suelo y ultramicrofábrica	268
II.1.6	Relaciones color del suelo y ultramicrofábrica	276
II.1.7	Morfología de las partículas de posos de café y sus efectos como enmienda orgánica de suelos	284
II.1.8	Suelos fósiles del yacimiento arqueológico del Palacio de los Abencerrajes (La Alhambra, Granada)	292
II.1.9	SEM y Ciencia del Suelo Forense. Caso del enigma histórico de los restos de Colón	300
II.1.10	Aplicación del SEM para el estudio de los SCG y sus <i>hidrochars</i> activados	308

2. FRACCIONES GRANULOMÉTRICAS DEL SUELO

II.2.1	Estudio con SEM-EDX de arenas finas pesadas de suelos mediterráneos	318
II.2.2	Granos de cuarzo como indicadores de procesos medioambientales. Utilidad del SEM-EDX	328
II.2.3	Origen litológico de granos de cuarzo mediante el empleo de catodoluminiscencia acoplada a microscopio electrónico de barrido (SEM-CL)	338
II.2.4	Aplicaciones ambientales del SEM para determinar movilidad de elementos potencialmente tóxicos (Distrito minero de Riotinto)	348
II.2.5	SEM de los fragmentos gruesos del suelo	356

3. MATERIALES MINERALES DE INTERÉS SANITARIO E INDUSTRIAL

II.3.1 Talco como materia farmacéutica	368
II.3.2 Evaluación de la calidad mineral de polvos de talco usando SEM-EDX	376
II.3.3 Caolín como materia prima farmacéutica. Algunas aplicaciones del SEM para su estudio	384
II.3.4 Estudio con SEM de cocristales farmacéuticos	394
II.3.5 Fábrica SEM de peloides	402
II.3.6 Microfábrica de peloides empleados en balnearios españoles	410
II.3.7 Importancia de la microfábrica en el estudio de mezclas de arcillas y aguas para peloterapia	418
II.3.8 Fibras minerales en productos farmacéuticos	426
II.3.9 Aplicaciones del SEM-EDX y otras técnicas relacionadas para el estudio del pigmento azul ultramar y sus materias primas. Casuística del hierro	436

4. BIOMINERALIZACIONES

II.4.1 Biomineralizaciones inducidas por bacterias halófilas moderadas	456
II.4.2 Carbonatogénesis inducida bacteriana	466
II.4.3 Imágenes SEM de conchas de moluscos	482
II.4.4 Aplicación del SEM-EDX al estudio de litiasis humanas	500

5. PARTÍCULAS EÓLICAS Y ATMOSFEROGÉNESIS MINERAL

II.5.1 Iberulitos, genuinas partículas atmosféricas.....	510
II.5.2 Mineralogía de polvos eólicos con SEM-EDX	518
II.5.3 Morfoscopía de granos de cuarzo eólicos como indicadora de transporte atmosférico	528
II.5.4 Estudio con SEM de dos episodios de lluvia de barro sobre la Ciudad de Granada (España)	540

ÍNDICE DE AUTORES	549
-------------------------	-----

ÍNDICE DE TÉRMINOS	551
--------------------------	-----

Index

ACKNOWLEDGMENTS	IX
PRESENTATION	XV
CHAPTER AUTHORS	XIX
ACRONYMS USED	XXIII
SYMBOLS	XXVII
CHARACTERISTIC ENERGIES OF CHEMICAL ELEMENTS IN EDX SPECTRA	XXXV

Historical Background.....	11
----------------------------	----

PARTE I

GENERAL AND TECHNICAL ASPECTS

1. FUNDAMENTALS

I.1.1 Basics of Scanning Electron Microscopy (SEM).....	43
I.1.2 Artistic Treatment of SEM Images	63
I.1.3 Soil SEM Ultramicrofabric. A study Proposal	85
I.1.4 Coarse Sands from Spanish Soils	119
I.1.5 Quartz in Soils	139
I.1.6 Minerals and Health	165
I.1.7 Biomineralization	177

2. TECHNICAL ASPECTS

I.2.1 Techniques and Equipment used	203
---	-----

PART II
APPLICATIONS. IMAGE ATLAS

I. APPROACH TO THE ULTRAMICROMORPHOLOGY OF SOILS

II.1.1	Ultramicrofabric of Bt horizons in Italian and Spanish Terra Rossa	223
II.1.2	Ultramicrofabric of a Chronosequence of Luvisols, Calcisols and Fluvisols	236
II.1.3	Quantitative Analysis of the Continuum Ultramicrofabric-Nanofabric: case of a Soil Chronosequence	253
II.1.4	Ultramicrofabric of Soils in the Sierra Nevada (Granada, Spain)	261
II.1.5	Relationships between Soil Quality and Ultramicrofabric	269
II.1.6	Relationship between Soil Color and Ultramicrofabric	277
II.1.7	Morphology of Spent Coffee Ground particles and their effects as an Soil Organic Amendent	285
II.1.8	Fossil Soils of the Archaeological site of the Palace of the Abencerrajes (The Alhambra, Granada)	293
II.1.9	SEM and Forensic Soil Science. Case of the Historical Mystery of the Remains of Columbus	301
II.1.10	Use of SEM for the study of SCG and their Activated Hydrochars.....	309

2. SOIL GRANULOMETRIC FRACTIONS

II.2.1	SEM-EDX study of Heavy Fine Sands of Mediterraeen Soils	319
II.2.2	Quartz Grains as Indicators of Environmental Processes. Usefulness of SEM-EDX	329
II.2.3	Lithological Origin of Quartz Grains from Soils through the use of Cathodoluminescence attached to a Scanning Electron Microscope (SEM-CL)	339
II.2.4	Environmental Applications of SEM to determine the Mobility of Potentially Toxic Elements (Riotinto Mining District, Spain)	349
II.2.5	SEM of Soil Coarse Fragments	357

3. MINERAL MATERIALS OF SANITARY AND INDUSTRIAL INTEREST

II.3.1 Talc as Pharmaceutical Material.....	369
II.3.2 Evaluation of the Mineral Quality of Talcum Powders using SEM-EDX	377
II.3.3 Kaolin as a Raw Pharmacuetical Material. Some applications of SEM for its study	385
II.3.4 SEM study of Pharmaceutical Cocystals.....	395
II.3.5 SEM Fabric of Peloids.....	403
II.3.6 Microfabric of Peloids from Spanish Spas	411
II.3.7 Importance of Microfabric in the study of Clay-Water Mixtures for Pelotherapy	419
II.3.8 Mineral Fibers in Pharmaceutical products	427
II.3.9 Applications of SEM-EDX and other related Techniques for the study of the Ultramarine Blue Pigment and its Raw Materials. Case studies of Iron	438

4. BIOMINERALIZATIONS

II.4.1 Biomineralizations Induced by Moderate Halophilic Bacteria	457
II.4.2 Bacteria-induced Carbonatogenesis	468
II.4.3 SEM Images of Mollusc Shells	484
II.4.4 Application of SEM-EDX to the study of Human Kidney Stones	501

5. AEOLIC PARTICLES AND ATMOSPHEROGENESIS

II.5.1 Iberulites, genuine Atmospheric Particles	511
II.5.2 Mineralogy of Atmospheric Dust using SEM-EDX	519
II.5.3 Morphoscopy of Aeolian Quartz Grains as an Indicator of Atmospheric Transport	530
II.5.4 SEM study of two Rain Dust Episodes in the City of Granada (Spain)	541

INDEX BY AUTHORS	549
------------------------	-----

INDEX OF TERMS	565
----------------------	-----