

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Leinig Antonio Perazolli
(organizador)

Ciência e Tecnologia

Para o Desenvolvimento
Ambiental, Cultural
e Socioeconômico

Leinig Antonio Perazolli
(organizador)

2021 by Editora Artemis
Copyright © Editora Artemis
Copyright do Texto © 2021 Os autores
Copyright da Edição © 2021 Editora Artemis



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli
Imagem da Capa	peacestock/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba*
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia*
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba*
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso*
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa, Portugal*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, *Universidade de Brasília-DF*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados*
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal*
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo*
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*
Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México*
Prof.^a Dr.^a Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*



Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda*, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, *Universidade Federal do Amazonas*
Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *University of Miami and Miami Dade College*, USA
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, *Universidade de Évora*, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, *UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros*
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro*
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, *Universidade Estadual Paulista*
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, *Universidade Federal de Goiás*
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, *Universidade de Passo Fundo*
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, *Universidade Estadual Paulista*
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, *Universidade Federal de Sergipe*
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, *Universidade Federal de Ouro Preto*
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, *Universidade Federal da Bahia*
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, *Universidade Nova de Lisboa*, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, *Universidade Federal do Maranhão*
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, *Instituto Politécnico de Viseu*, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría"*, Cuba
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, *Universidade Federal de Lavras*
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, *Universidade Federal Fluminense*



Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

C569 Ciência e tecnologia para o desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico [livro eletrônico] / Organizador Leinig Antonio Perazolli. – Curitiba, PR: Artemis, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilíngue

ISBN 978-65-87396-52-1

DOI 10.37572/EdArt_201221521

1. Ciência – Brasil. 2. Inovações tecnológicas – Aspectos sociais. I. Perazolli, Leinig Antonio.

CDD 500

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

APRESENTAÇÃO

A publicação intitulada **“Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Ambiental, Cultural e Socioeconômico”** faz uma coletânea de resultados científicos, em diferentes áreas do conhecimento, exemplificando um modelo para a abordagem dos problemas relacionados ao desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico da sociedade atual.

A obra se justifica ao apresentar caminhos para se atingir soluções positivas frente às grandes e variadas dificuldades que estamos observando nas últimas décadas, decorrentes de ações comerciais, do desejo de consumo e ao fato que as fontes são finitas, porém os desejos humanos não. Estas ações comerciais levam à destruição ambiental, massificação cultural e a problemas socioeconômicos devido à diferença de renda e ao aumento da frequência de desastres ambientais, os quais geram grandes prejuízos financeiros e humanos.

A obra se inicia relatando o estado da arte sobre o consumo ético, avança para a descrição da vulnerabilidade e do emprego sustentável de ecossistemas. Destaca a função dos processos de educação, peça fundamental para a evolução sustentável de qualquer sociedade e a importância da interrelação entre os municípios de diferentes países para a busca de objetivos comuns.

Na continuidade temos exemplos de resultados científicos positivos para o uso de tecnologias em diferentes áreas do conhecimento, desde o uso de micro-organismos e sementes para a produção de óleos e energia, tratamentos e recuperação de resíduos de minerais e propostas científicas avançadas nas áreas de separação líquido-líquido, magneto eletrônica e varistores. A obra também ilustra as consequências das ações negativas praticadas pela ação humana. Cabe destacar que se estas ações não forem evitadas, corrigidas e/ou readequadas as consequências dos desastres ambientais, com reflexos negativos em todas as áreas, poderão se tornar irreversíveis em questão de décadas.

A importância deste livro reside ao indicar caminhos para fomentar o desenvolvimento ambiental, cultural e socioeconômico de forma sustentável.

Quero externar meus sinceros agradecimentos aos autores dos trabalhos científicos e à Editora Artemis, pela organização desta obra.

Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli
UNESP – Instituto de Química de Araraquara/SP

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ESTADO DEL ARTE SOBRE CONSUMO ÉTICO EN LA ÚLTIMA DÉCADA: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Javier Solano

David Zaldumbide Peralvo

Delia García Vences

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215211

CAPÍTULO 2..... 18

VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LA CONTAMINACIÓN POR NITRATO EN LA CUENCA DEL RÍO EBRO (ESPAÑA) MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO LU-IV

Mercedes Arauzo Sánchez

María Valladolid Martín

Gema García González

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215212

CAPÍTULO 3..... 36

ECOSISTEMAS DE EMPRENDIMIENTO, DE LO NACIONAL A LO REGIONAL, SANTANDER UNA APUESTA

Mónica María Pacheco Valderrama

Olga Cecilia Alarcón Vesga

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215213

CAPÍTULO 4..... 47

O ENSINO MÉDIO POLITÉCNICO E A REALIDADE TECNOLÓGICA VIVENCIADA PELOS ALUNOS E PROFESSORES EM DUAS ESCOLAS DE PELOTAS- RS

Elis Regina Madeira da Porciúncula

Marcos Antonio Anciuti

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215214

CAPÍTULO 5..... 69

UNIVERSIDADES Y LA APROPIACIÓN SOCIAL DE LA CIENCIA. ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE CHILE

Juan Ramón Contreras González

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215215

CAPÍTULO 6..... 89

COMPARACIÓN DE LA NORMATIVA DE CONTROL INTERNO Y EXTERNO MUNICIPAL ENTRE ECUADOR Y ARGENTINA

Verónica Ponce

Carlos Albert Ferreira

José Townsend

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215216

CAPÍTULO 7..... 103

EL USO DE LA BIOMASA DEL HONGO *Aspergillus niger* PARA LA ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS DE AGUAS CONTAMINADAS

Ismael Acosta Rodríguez

Nancy Pacheco Castillo

Adriana Rodríguez Pérez

Juan Fernando Cárdenas González

Víctor Manuel Martínez Juárez

Francisco Navarro Castillo

Erika Enríquez Domínguez

Juana Tovar Oviedo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215217

CAPÍTULO 8..... 114

INFLUENCIA DE LA ENVOLVENTE CON BAJOS NIVELES DE TRANSMITANCIA EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS EN CLIMAS CÁLIDOS

María Victoria Mercado

Celina Filippín

Gustavo Barea

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215218

CAPÍTULO 9.....134

ESTUDIO DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LA CUPRITA SINTETIZADA POR RUTA QUÍMICA

Orfelinda Avalo Cortez

David Pedro Martínez Aguilar

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2012215219


CAPÍTULO 10.....147

ACEITE DE LA SEMILLA DE AGUACATE, UNA REVISIÓN DESDE SUS POTENCIALIDADES

Lina González Asías

Amelia Espitia Arrieta

Jennifer Lafont Mendoza

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152110

CAPÍTULO 11.....159

ESTUDIOS QUÍMICOS REALIZADOS A LA SEMILLA DE *Moringa oleifera* Lam Y SU IMPACTO EN LA SALUD HUMANA: UNA REVISIÓN TEÓRICA

Jennifer Lafont Mendoza

William Negrete Humanez

Amelia Espitia Arrieta

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152111

CAPÍTULO 12.....171

ZONAS DE INFLUENCIA GENERADAS POR PROPIEDADES FÍSICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN EN CAMPO DEL MATERIAL ROCOSO

Ernesto Patricio Feijoo Calle

Andrés Nicolás Aguirre Larriva

Bernardo Andrés Feijoo Guevara

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152112

CAPÍTULO 13..... 186

CARACTERIZACIÓN Y FLOTACIÓN DE APATITA CONTENIDAS EN RELAVE DE HIERRO

Luis Valderrama

Mario Santander

Oswaldo Gómez

Patricia Tapia
Patricio Muñoz
Bruno Zazzali

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152113

CAPÍTULO 14.....193

ESTUDO DE COMPÓSITOS COM MATRIZ DE ALUMÍNIO E RESÍDUOS DE MINÉRIO DE MANGANÊS POR SINTERIZAÇÃO AO AR NATURAL

Affonso Henrique Alves Ribeiro
Margarida Márcia Fernandes Lima
Rhelman Rossano Urzedo Queiroz
Rosa Malena Fernandes Lima

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152114

CAPÍTULO 15.....214

EXTRAÇÃO LÍQUIDO-LÍQUIDO APLICADA AO PROCESSO DE REFINO DE ETANOL COMBUSTÍVEL

Gabriel Manso Kozlowski Pitombeira
Leinig Antonio Perazolli
Elias de Souza Monteiro Filho

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152115

CAPÍTULO 16..... 227

EVIDENCING THE MAGNETOELECTRIC COUPLING IN BI1-XNDXFE03 COMPOSITIONS THROUGH FERROIC CHARACTERIZATIONS

Anuar Jose Mincache
Lilian Felipe da Silva Tupan
Odair Gonçalves de Oliveira
Ivair Aparecido dos Santos
Luiz Fernando Cótica

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152116

CAPÍTULO 17234

EFEITO DO COBALTO E ZINCO EM VARISTORES À BASE DE SNO_2

Glauco Meireles Mascarenhas Morandi Lustosa
João Paulo de Campos da Costa
Leinig Antônio Perazzoli
Biljana Stojanovic

Maria Aparecida Zaghete Bertochi

Elson Longo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152117

CAPÍTULO 18.....250

GRADUAÇÃO HISTOLÓGICA DOS GLIOMAS PELA ANÁLISE DA PERMEABILIDADE MICROVASCULAR POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Pedro Henrique Raffa de Souza

Rodrigo de Oliveira Plotze

Lucas Giansante Abud

Carolina Baraldi Araújo Restini

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152118

CAPÍTULO 19.....270

MONITORAMENTO DE ENCALHES DE ANIMAIS MARINHOS NA GESTÃO DA PESCA EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO

Viviane Korres Bisch

Roberto Sforza

 https://doi.org/10.37572/EdArt_20122152119

SOBRE O ORGANIZADOR.....280

ÍNDICE REMISSIVO281

CAPÍTULO 2

VULNERABILIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS A LA CONTAMINACIÓN POR NITRATO EN LA CUENCA DEL RÍO EBRO (ESPAÑA) MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO LU-IV¹

Data de submissão: 01/09/2021

Data de aceite: 07/09/2021

Mercedes Arauzo Sánchez

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Instituto de Ciencias Agrarias
Grupo de Contaminación Difusa
Madrid, España

<https://orcid.org/0000-0003-4113-8797>

María Valladolid Martín

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Museo Nacional de Ciencias Naturales
Dpto. de Biodiversidad y
Biología Evolutiva
Madrid, España

<https://orcid.org/0000-0002-7405-1105>

Gema García González

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Instituto de Ciencias Agrarias
Grupo de Contaminación Difusa
Madrid, España

<https://orcid.org/0000-0002-1715-3252>

RESUMEN: La contaminación por nitrato de fuentes difusas es una de las principales causas del deterioro de la calidad de los recursos hídricos subterráneos a escala global. Recientes investigaciones señalan la necesidad de minimizar la incertidumbre en la evaluación de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas, mediante el desarrollo de metodologías robustas que permitan evaluar la vulnerabilidad, bajo un enfoque fuente-vía-receptor, en el contexto de la cuenca hidrológica. El procedimiento LU-IV (Arauzo, 2017) fue ideado para cartografiar la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas (riesgos asociados al medio físico) y la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato (riesgos asociados a los usos del suelo en territorios intrínsecamente vulnerables) con el objetivo de mejorar la delimitación de las zonas vulnerables a la contaminación por nitrato (ZVN). Esta metodología utiliza parámetros sencillos y fácilmente disponibles que, combinados en un entorno de SIG, permiten evaluar con precisión la vulnerabilidad (intrínseca y específica) en la totalidad de la cuenca hidrológica susceptible de drenar agua con nitrato en exceso hacia un acuífero receptor. La aplicación del procedimiento LU-IV a la cuenca del río Ebro (España) ha permitido determinar que un territorio de 18.757 km² presenta un nivel de alto a extremo de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato (susceptible de afectar a la calidad de

¹ Este capítulo es un extracto del artículo publicado en Estudios Geológicos con la siguiente referencia: Arauzo, M., García, G., Valladolid, M., 2020. Cartografía de la vulnerabilidad de las aguas subterráneas a la contaminación por nitratos de fuentes difusas en la cuenca del río Ebro (N.E. de España). Estudios Geológicos 76, e132. <https://doi.org/10.3989/egool.43868.586>

sus aguas subterráneas), por lo que las zonas identificadas podrían ser potencialmente designables como ZVN. Esta superficie difiere de los 9.796 km² designados oficialmente como ZVN por las administraciones autonómicas con competencias en la cuenca del Ebro. Si bien las zonas oficialmente designadas coinciden en gran medida con los resultados de esta investigación, la aplicación del nuevo procedimiento LU-IV ha permitido identificar un 50% más de territorios clasificables como ZVN.

PALABRAS CLAVE: Contaminación Difusa. Zonas Vulnerables a la Contaminación por Nitrato (ZVN). Procedimiento LU-IV. Sistemas de Información Geográfica.

ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY TO NITRATE POLLUTION IN THE EBRO RIVER BASIN (SPAIN) USING THE LU-IV PROCEDURE

ABSTRACT: Nitrate pollution from diffuse sources is one of the principal causes of groundwater quality deterioration on a global scale. Recent research suggests the need to minimize uncertainty in assessing groundwater vulnerability based on a robust methodology, based on a source–pathway–receptor approach, at the basin scale. The LU-IV procedure (Arauzo, 2017) was devised for mapping intrinsic groundwater vulnerability (risk associated with the physical environment) and specific vulnerability to nitrate pollution (risk associated with land use in areas intrinsically vulnerable), with the final goal of improving the nitrate vulnerable zones (NVZ) delineation. This methodology uses simple and readily available parameters combined in a GIS environment that allows assessing groundwater vulnerability in the entire catchment area that potentially can drain water with nitrate in excess into a receiving aquifer. The LU-IV procedure applied to the river Ebro basin (Spain) revealed a surface area of 18,757 km² under high to extreme vulnerability to nitrate pollution (susceptible to affect groundwater quality). These results differ from the 9.796 km² of NVZ designated by the Spanish regional administrations with competencies in the Ebro river basin. Although the officially designated NVZ are consistent with the results of this research, the application of the new procedure allowed us to identify 50% more surface area that could be classified as NVZ.

KEYWORDS: Diffuse Pollution. Nitrate Vulnerable Zones (NVZ). LU-IV Procedure. Geographic Information Systems.

1 INTRODUCCIÓN

En la Unión Europea (UE), la Directiva de Nitratos (91/676/EEC; Council of the European Communities, 1991) establece que las masas de aguas deben considerarse afectadas por contaminación de nitrato cuando su concentración excede los 50 mg L⁻¹. La Directiva establece la obligatoriedad por parte de los Estados miembros de identificar las zonas cuya escorrentía o filtración afecte o pueda afectar a la contaminación por nitrato de las masas de agua. Estos territorios deben ser designados bajo la denominación de zonas vulnerables a la contaminación por nitrato (ZVN). En las ZVN deben implementarse programas de acción orientados a la recuperación de la calidad del agua y a la prevención de la contaminación por nitrato. Sin embargo, habiéndose constatado la necesidad de

mejorar la precisión en las designaciones y la efectividad de los programas de acción (Commission of the European Communities, 2007; Arqued, 2018), en la UE todavía no se ha definido un criterio común para la identificación y designación de las ZVN.

Durante las últimas décadas, los mapas de vulnerabilidad de las aguas subterráneas basados en la aplicación de índices de vulnerabilidad mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido ampliamente utilizados por las Administraciones en la toma de decisiones sobre políticas de planificación de los recursos hídricos, si bien, todavía deben resolverse algunas lagunas metodológicas relacionadas con la inclusión o exclusión de determinados parámetros de los índices y las calificaciones y pesos relativos asignados a cada parámetro en la evaluación de riesgos (Kumar *et al.*, 2015). En este sentido, Machiwal *et al.* (2018) subrayan la necesidad de minimizar la incertidumbre en la evaluación de la vulnerabilidad mediante el desarrollo de una metodología robusta y global, que permita evaluar la vulnerabilidad de las aguas subterráneas en un entorno de SIG, bajo un enfoque fuente-vía-receptor (en el contexto de la cuenca hidrológica) y mediante procedimientos válidos para diferentes escalas espaciales y condiciones hidrogeológicas y climáticas. En este contexto, el procedimiento LU-IV (Arauzo, 2017) fue desarrollado con el doble propósito de: (1) ofrecer una herramienta efectiva para cartografiar la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas (que evalúa los riesgos asociados a factores del medio físico) y su vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato (que evalúa los riesgos de lixiviación de nitrato asociados a los usos del suelo en territorios intrínsecamente vulnerables) y (2) mejorar la identificación y la designación de las ZVN.

El procedimiento LU-IV combina, mediante la aplicación de funciones lógicas de un SIG, el mapa de vulnerabilidad intrínseca (mapa IV, basado en el índice IV; Arauzo, 2017) y el mapa de los riesgos asociados a los usos del suelo (mapa LU; Arauzo, 2017), para finalmente obtener el mapa de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato. Al comparar los resultados del procedimiento LU-IV con otros modelos paramétricos de vulnerabilidad como DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) y GOD (Foster, 1987), el procedimiento LU-IV demostró una mayor eficacia en la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca y específica, y una mejor capacidad predictiva de las zonas de los acuíferos contaminadas por nitrato y de las zonas en riesgo de contaminación (Arauzo *et al.*, 2017). El método presenta las siguientes características diferenciales: (1) utiliza parámetros sencillos y fácilmente disponibles para alimentar el modelo, (2) evita la asignación de un peso específico a cada parámetro (al haberse constatado que el peso efectivo de los parámetros puede variar en función del tamaño y de las características de la cuenca o unidad territorial de análisis), (3) evalúa la totalidad de la cuenca hidrológica que puede potencialmente drenar agua hacia un acuífero receptor y (4) permite realizar actualizaciones del mapa de vulnerabilidad específica (a

medida que se producen cambios en los usos del suelo y se generan nuevas versiones del mapa *LU*). Recientemente, el procedimiento LU-IV ha sido mejorado mediante el afino de los valores de riesgo que se asignan a los diferentes tipos de cultivo en el mapa *LU* (Arauzo *et al.*, 2019). Estos nuevos valores “afinados” fueron obtenidos a partir de datos empíricos sobre los excedentes anuales de N por tipos de cultivo (procedentes de los informes anuales sobre el balance de N en la agricultura española; MAGRAMA, 2013, 2015a; MAPAMA, 2016, 2017), lo que nos ha permitido mejorar, aún más si cabe, la fiabilidad y precisión del procedimiento.

A día de hoy, la tercera parte de las masas de agua subterránea de la Demarcación de la Cuenca del Ebro (España) presenta áreas contaminadas por nitrato procedente de fuentes difusas (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2019a, b), siendo los acuíferos aluviales los más gravemente afectados. Atendiendo a los requerimientos de la Directiva de Nitratos, las diferentes administraciones autonómicas españolas con competencias en la cuenca del Ebro han realizado designaciones de ZVN durante las dos últimas décadas, sobre las que se vienen implementándose programas de acción para la recuperación de la calidad del agua. No obstante, dado que el actual marco normativo de la UE no ofrece con una metodología normalizada para la designación de ZVN, la disparidad de criterios en las designaciones (European Commission, 2013), con mayor o menor acierto, podría estar poniendo en riesgo la eficacia global de los programas de acción (Arauzo & Valladolid, 2013; Worrall *et al.*, 2009).

En esta investigación hemos usado el procedimiento LU-IV (Arauzo, 2017), en su versión mejorada (Arauzo *et al.*, 2019), para cartografiar y analizar la vulnerabilidad intrínseca y la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato de las aguas subterráneas en la cuenca hidrológica del río Ebro. Con la aplicación del procedimiento LU-IV, pretendemos ofrecer a las Administraciones y los Agentes Sociales del sector agrario una herramienta que permita mejorar la precisión en la identificación de las ZVN, lo que sin duda ayudará a optimizar los programas de acción para la recuperación de la calidad del agua, de acuerdo con las exigencias de la Directiva de Nitratos y con el Objetivo 6 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Economic and Social Council of the United Nations, 2018).

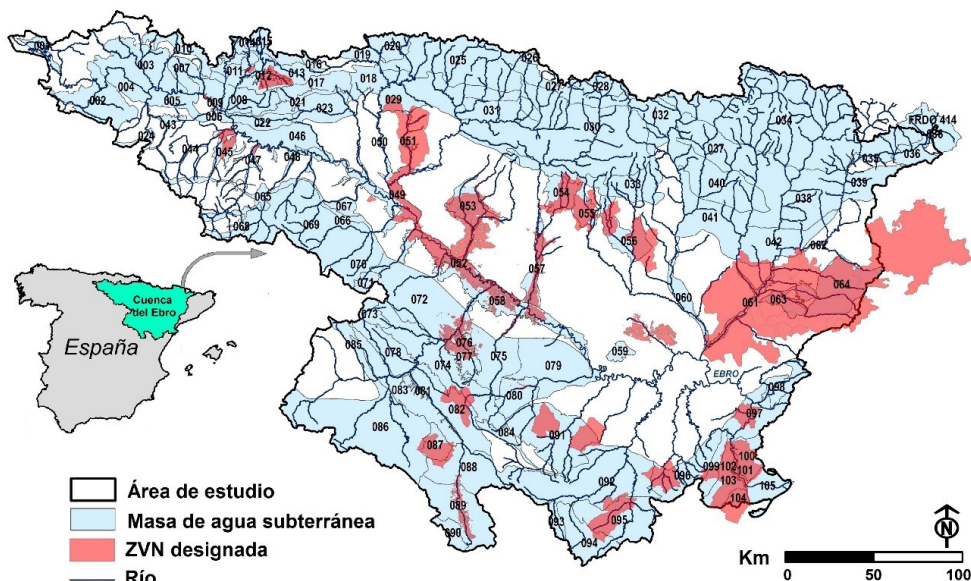
2 ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende el territorio de la cuenca hidrológica del río Ebro (N.E. de España; fig. 1). Presenta una extensión total de 85.660 km², en la que se contabilizan 104 masas de agua subterránea principales que, en su conjunto, ocupan el 64% de la cuenca (fig. 1). De acuerdo a su litología, estas masas de agua corresponden

mayoritariamente a acuíferos carbonatados, detríticos no aluviales y mixtos (59% de la superficie de la cuenca) y a acuíferos aluviales (5% de la superficie de la cuenca). El 35% del conjunto de los acuíferos de la cuenca del Ebro presenta áreas con niveles de nitrato por encima de 50 mg L⁻¹, si bien la contaminación por nitrato afecta al 95% de los acuíferos aluviales (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2019a, b). Las características específicas de las masas de agua subterránea pueden consultarse en MAGRAMA (2005).

Fig. 1. Demarcación de la Cuenca de Ebro (España). Las 106 masas de agua subterránea principales aparecen etiquetadas con los códigos numéricos asignados por la Confederación Hidrográfica del Ebro (2019b). También se representa las ZVN designadas oficialmente por las administraciones autonómicas de La Rioja, País Vasco, Navarra, Aragón y Cataluña.



La cuenca del Ebro limita al norte con los montes Vasco–Cantábricos y Pirineos, al sur con el Sistema Ibérico y al este con la cadena Costero–Catalana, dejando entre sí una zona deprimida que corresponde a la depresión del Ebro. Las áreas de montaña presentan un clima típicamente atlántico de montaña, con una precipitación media anual de 700 a 2000 mm (Botey *et al.*, 2013), dependiendo de la zona y altitud. En el resto del territorio el clima varía desde el continental mediterráneo (con una clara gradación semiárida en el centro de la depresión del Ebro), donde la precipitación anual es de 300 a 400 mm, hasta el clima puramente mediterráneo del área del delta del Ebro, con precipitaciones anuales de 400 a 700 mm (Botey *et al.*, 2013).

Entre los riesgos de contaminación difusa asociados a los usos del suelo destacan las actividades agrícolas, siendo la fertilización la principal fuente exógena de compuestos nitrogenados (MAGRAMA, 2013, 2015a; MAPAMA, 2016, 2017). La cuenca del Ebro alberga

una superficie agrícola de unos 30.000 km², de los que 9.000 km² son regadíos (SIOSE, 2011), que mayoritariamente se localizan en territorios aledaños a los cursos fluviales.

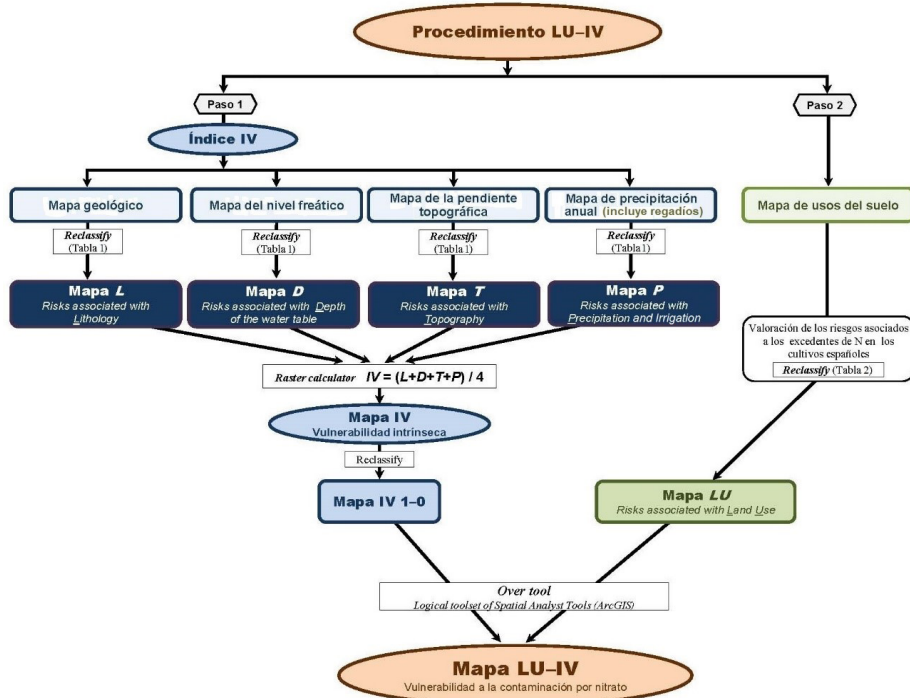
Hasta hoy, cinco de las administraciones autonómicas con competencias para la designación de ZVN en la cuenca del Ebro (La Rioja, País Vasco, Navarra, Aragón y Cataluña) han designado una superficie total de 9.796 km² como ZVN (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2019a, b; fig. 1).

2.2 METODOLOGÍA

La cartografía temática se elaboró utilizando las herramientas de Análisis Espacial de ArcGIS 10.3 for Desktop (ESRI, Redlands, CA, USA) y el sistema de referencia espacial ETRS89/UTM zona 30N. Para las capas en formato ráster se empleó un tamaño de pixel de 25 m.

El procedimiento LU-IV (Arauzo, 2017), para cartografiar la vulnerabilidad intrínseca de las aguas subterráneas y la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato, se desarrolla en dos pasos (fig. 2). Utiliza una escala única (de 1 a 10) para todos los parámetros, con cinco rangos de vulnerabilidad que corresponden a: riesgo inapreciable (valores 1-2), riesgo bajo (valores 3-4), riesgo medio o moderado (valores 5-6), riesgo alto (valores 7-8) riesgo extremo (valores 9-10) (tablas 1 y 2).

Fig. 2. Diagrama resumen del procedimiento LU-IV (extraído de la figura 3 en Arauzo et al., 2019).



En el paso 1, el procedimiento genera el mapa ráster de vulnerabilidad intrínseca (mapa IV; fig. 2) a partir de cuatro parámetros del medio físico combinados mediante el siguiente algoritmo (índice IV):

$$IV = \frac{L + D + T + P}{4}$$

Dónde, *L* representa el riesgo asociado a la litología de la zona no saturada (*Lithology of the vadose zone*), *D* representa el riesgo asociado a la profundidad del nivel freático (*Depth to groundwater table*), *T* representa el riesgo asociado a la pendiente topográfica (*Topography*) y *P* representa el riesgo asociado a la precipitación media anual (*Precipitation*; aunque también incluye, en su caso, el riesgo adicional procedente de los retornos de riego en las áreas de regadío). Para generar los mapas *L*, *D*, *T* y *P* de la cuenca del Ebro se siguió la metodología de Arauzo (2017), donde se describe la procedencia y justificación de los valores de referencia asignados a cada parámetro (tabla 1).

El mapa ráster *L* se elaboró a partir de Mapa Geológico de España (Series MAGNA, Instituto Geológico y Minero de España) escala 1:50.000, en formato digital (Confederación Hidrográfica del Ebro, 2015), asignando los valores para *L* de la tabla 1.

Para generar el mapa ráster *D*, se partió de capas vectoriales de puntos de las masas de agua (elaboradas a partir de la Red Piezométrica de la Confederación Hidrográfica del Ebro; CHE), con los valores mínimos de profundidad del nivel freático en cada punto para el periodo 2005–2015 (información en formato Excel facilitada por la CHE). Los datos sobre profundidades de niveles freáticos fueron ampliados con información propia, hasta completar un total de 548 puntos de muestreo. Se usaron los valores mínimos de profundidad del freático al representar éstos el escenario menos favorable (de máxima vulnerabilidad) en el que la capa freática se encuentra más próxima a la superficie del terreno. Las interpolaciones a partir de las capas de puntos (para generar los rasters de profundidad del freático) se hicieron acuífero a acuífero, asignando posteriormente (mediante la herramienta *Reclassify* de Análisis Espacial de ArcGIS) los valores para *D* de la tabla 1.

Tabla 1. Valores asignados a los parámetros *L*, *D*, *T* y *P* que conforman el índice IV de vulnerabilidad intrínseca (extraídos de la Tabla 3 en Arauzo *et al.*, 2019).

Litología de la zona no saturada “L”	Valor	Profundidad del nivel freático “D” (m)	Valor
Calizas kársticas; caliches; gravas.	10	0–1 (todas las profundidades para calizas kársticas, caliches, gravas, calcarenitas y caliza de Creta)	10
Calcarenitas; caliza de Creta.	9	>1–3	9

Litología de la zona no saturada “L”	Valor	Profundidad del nivel freático “D” (m)	Valor
Arenas aluviales y fluvio-glaciares; lavas volcánicas recientes.	7-8	>3-5	8
Arenas eólicas; tobas volcánicas; formaciones ígneas/metamórficas fracturadas; formaciones volcánicas antiguas; areniscas, conglomerados.	5-6	>5-10	7
Limos aluviales, loess, till glacial; lutitas.	3-4	>10-13	6
Arcillas; suelos residuales; formaciones ígneas/metamórficas no fracturadas y otros acuífugos.	1-2	>13-20	5
		>20-33	4
		>33-50	3
		>50	2
		Ausencia de acuífero subyacente	1
Pendiente topográfica “T” (%)	Valor	Precipitación media “P” (mm año⁻¹) y, en su caso, efectos del regadío^a	Valor
0-2	10	>900	10
>2-3	9	>800-900	9
>3-4	8	>700-800	8
>4-5	7	>600-700	7
>5-6	6	>500-600	6 (7) ^a
>6-9	5	>400-500	5 (7) ^a
>9-12	4	>300-400	4 (7) ^a
>12-15	3	>200-300	3 (7) ^a
>15-18	2	>100-200	2 (7) ^a
>18	1	0-100	1 (7) ^a

^aEn áreas agrícolas de regadío el valor de *P* se elevó a 7 (riego alto) al existir un riesgo adicional procedente de los retornos de riego.

El mapa ráster *T* se creó a partir del mapa de la pendiente topográfica, generado a su vez a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT) de 25 m de resolución (IGN, 2018), al que se asignaron los valores para *T* de la tabla 1 (mediante *Reclassify*).

El mapa ráster *P* se elaboró mediante interpolación, a partir de una capa vectorial de 490 puntos con los valores medios de precipitación anual para el periodo 1981-2010 (Botey *et al.*, 2013), asignando posteriormente los valores correspondientes (mediante *Reclassify*) a los distintos rangos de *P* (tabla 1). Dado que, además, en las zonas de regadío existe un riesgo adicional por los aportes extra de agua procedentes de los retornos de riego, el ráster *P* de precipitación, se amplió incluyendo una valoración de los riesgos asociados a las superficies de regadío (identificadas a partir de SIOSE, 2011). En particular, nos fijamos en los cultivos de herbáceos en regadío (hortícolas y, con menor frecuencia, cereales, herbáceas forrajeras y otras herbáceas en régimen de regadío), generalmente regados mediante sistemas menos eficientes (aspersión e inundación; MAGRAMA, 2015b). Para ello, en las zonas de regadío coincidentes con valores de precipitación entre 1 y 6, de riesgo inapreciable a moderado, el valor final asignado a cada pixel se elevaría a

un valor de 7, correspondiente a un riesgo alto (valoración justificable por la sobrecarga efectiva que suponen los retornos de riego).

Para obtener el mapa de vulnerabilidad intrínseca (mapa IV), los rasters de los mapas *L*, *D*, *T* y *P* se combinaron aplicando el índice IV, mediante la herramienta *Map Algebra* de Análisis Espacial de ArcGIS.

En el paso 2, el procedimiento genera un ráster de vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato (mapa LU-IV; fig. 2) mediante la combinación del mapa de vulnerabilidad intrínseca (mapa IV, en su versión IV 1-0) y el mapa de riesgos asociados a los usos del suelo (mapa *LU*, que se explica más abajo). Para ello se utiliza la herramienta lógica *Over* de Análisis Espacial de ArcGIS.

Pero antes de aplicar *Over*, reclasificamos el mapa IV a valores 1 y 0 (mediante *Reclassify*). Para ello asignamos el valor 1 a los valores de IV entre 1 y 4 (riesgo inapreciable y bajo) y el valor 0 a los valores de IV entre 5 y 10 (riesgo medio, alto y extremo). Así obtuvimos el mapa ráster IV 1-0 (fig. 2), que permite diferenciar los territorios intrínsecamente vulnerables (con valor de píxel 0) de los no vulnerables (con valor de píxel 1).

Asimismo, para generar el mapa *LU* (*Land Use*; mapa de riesgos asociados a los usos del suelo) se partió como mapa base del Mapa del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España SIOSE 2011, a escala 1:25.000 (SIOSE, 2011; IGN, 2015; de ahora en adelante referido como SIOSE). SIOSE divide el territorio con una malla continua de polígonos de cobertura única, cobertura compuesta, mosaico o asociación. Los *shapefiles* de SIOSE (2011) fueron recortados a la extensión del área de estudio y su tabla de atributos se completó con el parámetro *LU* (tabla 2). Los valores de *LU* (tabla 2) se obtuvieron del estudio de Arauzo *et al.* (2019) y se encuentran fundamentados en el análisis de los datos sobre excedentes anuales de N en los diferentes tipos de cultivo, extraídos de los informes anuales sobre balances de N en la agricultura española para el periodo 2011–2015 (MAGRAMA, 2013, 2015a; MAPAMA, 2016, 2017). Del mapa *LU* en formato vectorial se extrajo el mapa *LU* en formato ráster.

Tabla 2. Valores asignados a los riesgos asociados a los usos del suelo (parámetro *LU*; extraídos de la Tabla 4 en Arauzo *et al.*, 2019); los valores preferentes se muestran entre paréntesis.

Uso del Suelo “ <i>LU</i> ”	Valor
Cultivo de hortalizas (hortalizas de hoja, flor y tallo; hortalizas de fruto, como tomate, guisante, judía verde, calabacín, etc.; tubérculos, bulbos y raíces; cultivo de flores); cultivo de cítricos; cultivo de herbáceas forrajeras en regadío.	10
Cultivo de herbáceas forrajeras en secano; cultivo de frutales (no cítricos).	9
Cereales en regadío.	8
Cereales en secano.	7
Piscifactoría; granjas y explotaciones ganaderas; áreas urbanas.	5–8 (7)
Cultivo de almendros.	7

Uso del Suelo "LU"	Valor
Viñedos; leguminosas (grano) en regadío; prados (regados).	6
Leguminosas (grano) en secano; prados y pastizales; cultivo de otras leñosas.	5
Olivar; cultivos industriales en regadío.	4
Cultivos industriales en secano.	3
Matorral.	1-5 (3)
Terreno no productivo.	1-5 (2)
Bosques y áreas naturales.	1

Finalmente, para ejecutar la herramienta *Over*, el ráster IV 1-0 se asignó como la primera entrada de *Over* (fig. 2) y el ráster *LU* como la segunda entrada (fig. 2). *Over* opera de manera que, para los valores de celda en la primera entrada (mapa IV 1-0) que son iguales a 1 (territorios intrínsecamente no vulnerables), el valor de salida será el mismo, es decir 1 (que corresponde a aquellos territorios en los que no es necesario aplicar restricciones de uso). Sin embargo, para los valores de celda que en la primera entrada son igual a 0 (territorios intrínsecamente vulnerables), la salida será la de la celda del ráster de la segunda entrada (mapa *LU*). Como resultado de la aplicación de esta herramienta lógica, obtuvimos el mapa de la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato (mapa LU-IV), que completa el procedimiento LU-IV (fig. 2). A partir del mapa LU-IV, es posible identificar con precisión las ZVN.

Toda la información complementaria sobre el diseño, afino, validaciones y aplicabilidad del procedimiento LU-IV puede consultarse en Arauzo (2017) y Arauzo *et al.* (2019).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 VULNERABILIDAD INTRÍNSECA

El mapa de vulnerabilidad intrínseca (índice IV; fig. 3) reveló que el 20% de la superficie de la cuenca del Ebro (16.959 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 37% (31.977 km²) nivel medio de riesgo, asociados a factores del medio físico (litología, hidrología, topografía y precipitación). En estas zonas, el agua de precipitación (y/o riego) es susceptible de percolar a través de la zona no saturada, convirtiéndose en un vehículo potencial para el transporte de solutos, por infiltración vertical y por escorrentía subsuperficial (en caso de existir pendiente).

Los mapas temáticos que conforman el mapa de vulnerabilidad intrínseca (fig. 3) revelan una escasa capacidad de atenuación del sustrato litológico (mapa *L*) y un alto grado de exposición del manto freático (mapa *D*) en los acuíferos aluviales y en extensas superficies de los carbonatados. La mayor parte de los aluviales presentan, además, un

alto riesgo debido a la escasa pendiente topográfica (mapa *T*), al ocupar las zonas más bajas y aplanadas de las cuencas, donde el agua tiende a acumularse. El riesgo asociado a la precipitación y al riego (mapa *P*) varía con la altitud, la zona climática y el uso del suelo. En el caso particular de los acuíferos aluviales de la depresión del Ebro, donde las precipitaciones son escasas (300–400 mm año⁻¹; fig. 3), el riesgo asociado a los aportes por precipitación se incrementa notablemente en las áreas de regadío (susceptibles de generar retornos de riego con arrastre de nitrato y otros solutos). El impacto potencial de los regadíos en las áreas aluviales es determinante, puesto que, de los aproximadamente 9.000 km² de superficie de regadío de la cuenca del Ebro (SIOSE, 2011), el 30% se distribuye sobre las superficies aluviales, mientras que el 70% restante se encuentra en territorios aledaños a las mismas. Con relación a los riesgos asociados a la precipitación y la pendiente topográfica en las áreas de influencia de los acuíferos carbonatados de zonas de montaña (Sistema Ibérico, Pirineos y montes Vasco–Cantábricos), se observaron niveles de riesgo alto asociado a las elevadas precipitaciones, y niveles de riesgo bajo asociado a las pendientes pronunciadas (mapas *P* y *T*; fig. 3) propias de entornos montañosos.

Tabla 3. Zonas vulnerables en la cuenca del Ebro extraídas a partir de los mapas IV y LU–IV. Se comparan con las ZVN designadas oficialmente por las administraciones autonómicas. Se muestran diferentes niveles de riesgo (sobre la superficie total de la cuenca y sobre los acuíferos aluviales, los acuíferos no aluviales y los territorios sin masas de agua subyacentes “zona seca”). La superficie que sería potencialmente designable como ZVN de acuerdo al procedimiento LU–IV aparece subrayada y en negrita.

	Área afectada de la cuenca; km ² (%) ^a	Área afectada sobre masas aluviales; km ² (%) ^b	Área afectada sobre masas no aluviales; km ² (%) ^c	Área afectada sobre zona seca; km ² (%) ^d
Mapa IV: Vulnerabilidad intrínseca				
Riesgo alto–extremo:	16.959 (20%)	3.594 (91%)	13.216 (26%)	149 (0,5%)
Riesgo medio:	31.977 (37%)	366 (9%)	21.028 (42%)	10.583 (34%)
Mapa LU–IV: Vulnerabilidad a la contaminación por nitrato				
Riesgo alto–extremo:	18.757 (22%)	2.703 (68%)	8.818 (18%)	7.236 (23%)
Riesgo medio:	6.131 (7%)	335 (8%)	4.371 (9%)	1.426 (4%)
ZVN designadas oficialmente	9.796 (11%)	1.685 (42%)	4.625 (9%)	3.486 (11%)

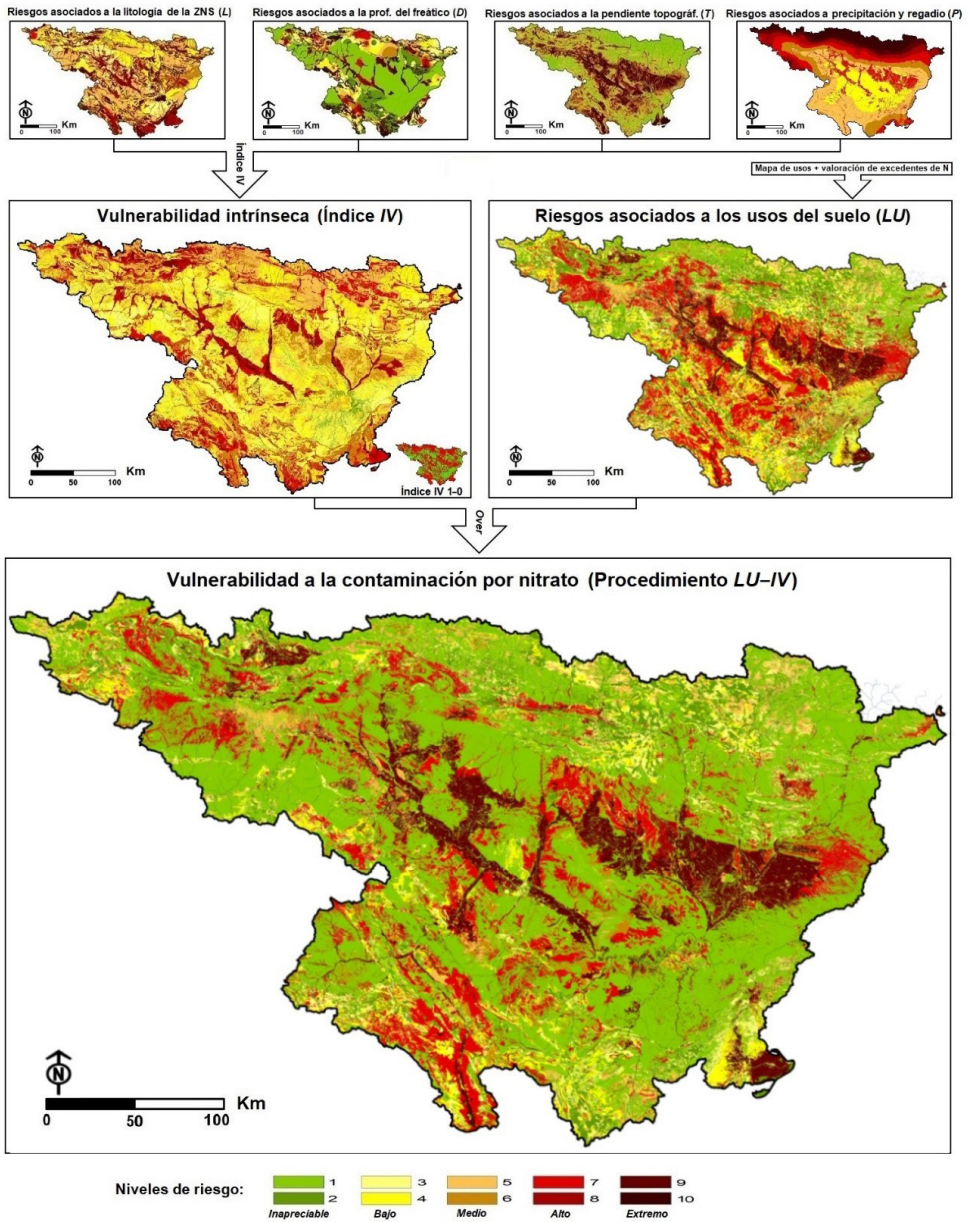
^a Área afectada con relación a la superficie total de la cuenca del Ebro.

^b Área afectada con relación a la superficie total de las masas de agua subterránea aluviales.

^c Área afectada con relación a la superficie total de las masas de agua subterránea no aluviales.

^d Área afectada con relación a la superficie total del territorio sin acuíferos subyacentes.

Fig. 3. Secuencia completa de los mapas temáticos que integran el procedimiento LU-IV.



A partir del mapa de vulnerabilidad intrínseca (fig.3) se comprobó que el 91% del área aluvial de la cuenca del Ebro (3.594 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 9% restante (366 km²) presenta niveles de riesgo medio (tabla 3). La elevada vulnerabilidad intrínseca en la totalidad del territorio aluvial sugiere la necesidad de implementar mecanismos de protección integral de las áreas aluviales. Por otra parte,

el análisis de la vulnerabilidad intrínseca en los territorios sobre las masas de agua no aluviales (acuiferos carbonatados, detríticos y mixtos) reveló niveles de riesgo de alto a extremo en el 26% de su superficie (13.216 km²) y niveles de riesgo medio en el 42% (21.028 km²) (tabla 3). Si bien, en este caso, la superficie relativa afectada resulta menor que la de los territorios aluviales, la superficie efectiva es muy superior. Asimismo, el análisis de la vulnerabilidad intrínseca en los territorios sin masas de agua subterránea subyacentes mostró niveles de riesgo de alto a extremo en el 0,5% de su superficie (149 km²) y niveles de riesgo medio en el 34% (10.583 km²) (tabla 3). Teniendo en cuenta estas consideraciones, para representar los territorios intrínsecamente vulnerables mediante el mapa IV 1-0 (fig. 2 y 3) se adoptó un criterio conservador, incluyendo en su elaboración los territorios con niveles de riesgo medio, alto y extremo (valores del índice IV de 5 a 10). Con esta medida se garantizó que no quedasen excluidas del procedimiento LU-IV aquellas zonas que, aun presentando niveles medios de vulnerabilidad intrínseca (paso 1 del procedimiento), pudiesen estar expuestas a usos del suelo de riesgo alto o extremo (paso 2 del procedimiento).

3.2 VULNERABILIDAD ESPECÍFICA

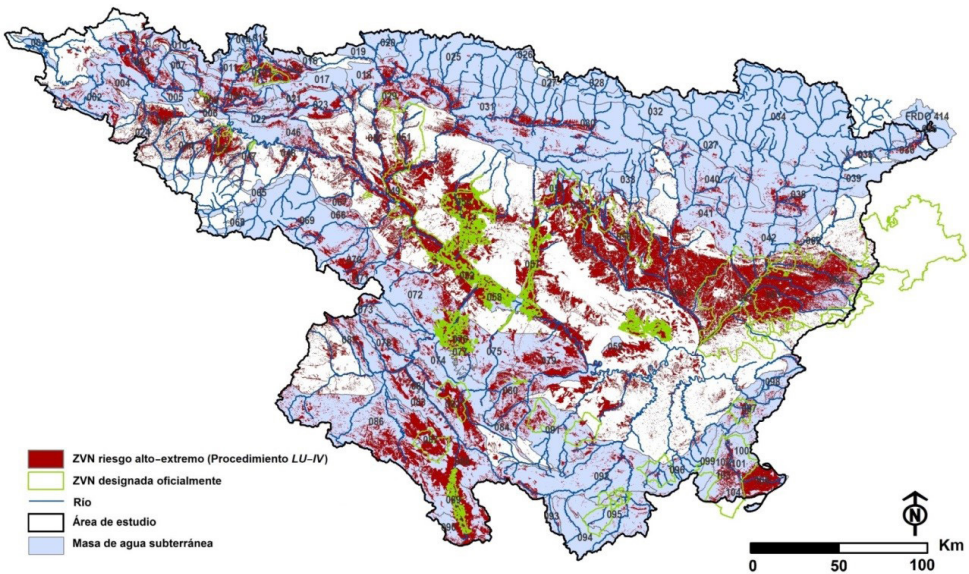
El mapa de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato (fig. 3) permitió determinar que el 22% de la superficie de la cuenca del Ebro (18.757 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 7% (6.131 km²) nivel medio de riesgo (tabla 3). Del conjunto del territorio afectado, el 68% de las áreas aluviales (2.703 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 8% (335 km²) nivel medio de riesgo (tabla 3), constatándose que los territorios aluviales son los más vulnerables a la contaminación por nitrato en superficie relativa. En general, sólo las zonas aluviales de las áreas de las cabeceras de cuenca, protegidas por bosques o áreas naturales, se ven libres de riesgos significativos. Estos datos, sumados al alto grado de vulnerabilidad intrínseca en el 100% de los territorios aluviales, refrendan la necesidad de plantear una protección integral de la totalidad de los mismos, no sólo en la cuenca del Ebro, sino a escala global. Por otra parte, el 18% de los territorios sobre masas de agua no aluviales (8.818 km²) presenta niveles de riesgo de alto a extremo y el 9% (4.371 km²) niveles medios. Y por último, en el 23% de los territorios sin masas de agua subterránea subyacente (7.236 km²) se dan niveles de riesgo de alto a extremo y en el 4% (1.486 km²) niveles de riesgo medio (tabla 3). En este caso, el hallazgo de una vulnerabilidad específica elevada en territorios de la cuenca en los que no existen masas de agua subterránea subyacentes, pero desde los que el nitrato podría ser transportado hasta los acuiferos receptores de cotas más bajas,

constituye una aportación novedosa del procedimiento LU-IV que hasta ahora no había sido contemplada por otros modelos de vulnerabilidad (Arauzo, 2017). En la cuenca del Ebro estas zonas representan el 8,4% de su territorio.

3.3 ZONAS VULNERABLES A LA CONTAMINACIÓN POR NITRATO

A partir del mapa de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato resultante del procedimiento LU-IV (fig. 3), fue posible determinar que una superficie de 18.757 km² podría ser potencialmente designable como ZVN (tabla 3). El territorio afectado corresponde al 22% de la superficie de la cuenca del Ebro. Esta superficie es prácticamente el doble que la superficie de 9.796 km² de ZVN designadas oficialmente por las administraciones autonómicas con competencias de designación en la cuenca del Ebro (11% de la superficie de la cuenca; fig. 1; tabla 3).

Fig. 4. ZVN potencialmente designables (en rojo) estimadas mediante el procedimiento LU-IV. ZVN designadas oficialmente por las administraciones autonómicas (contornos en verde).



Si bien los territorios oficialmente designados como ZVN coinciden en gran medida con los resultados de esta investigación (fig. 4), la aplicación del procedimiento LU-IV ha permitido identificar zonas vulnerables que todavía no habían sido desveladas hasta ahora. Asimismo, se ha evidenciado que en algunos territorios designados podría rebajarse el nivel de exigencia. Al analizar el grado de coincidencia entre los rasters de ZVN potenciales (resultado del procedimiento LU-IV) y de ZVN oficiales (designadas por las administraciones autonómicas) (fig. 4), se encontró que el 79% del territorio presentaba

valoraciones coincidentes en ambas aproximaciones, correspondiendo el 73% a zonas valoradas como no vulnerables y el 6% a zonas consideradas ZVN. Por otra parte, el 5% del territorio designado como ZVN oficiales no mostró correspondencia con el ráster de ZVN potenciales, mientras que el 16% del territorio identificado como ZVN potenciales, no presentó correspondencia con el ráster de ZVN oficiales.

4 CONCLUSIONES

La aplicación del procedimiento LU-IV a la cuenca del río Ebro ha permitido determinar que una superficie de 18.757 km² (22% de su superficie total) presenta un grado de vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato de alto a extremo, por lo que los territorios afectados podrían ser potencialmente designables como ZVN. Esta superficie es superior a los 9.796 km² de ZVN designadas oficialmente (11 % de la superficie de la cuenca). Si bien los territorios oficialmente designados coinciden en gran medida con los resultados de esta investigación, la aplicación del nuevo procedimiento LU-IV ha permitido identificar casi un 50% más de territorios clasificables como ZVN, que todavía no habían sido desvelados.

Las áreas aluviales presentaron el mayor grado de afectación, tanto por su vulnerabilidad intrínseca como por su vulnerabilidad específica, lo que sugiere la necesidad de abordar una protección integral de las mismas, no sólo en la cuenca del río Ebro, sino a escala global.

Los resultados de esta investigación constituyen un paso imprescindible en el análisis espacial de la vulnerabilidad específica a la contaminación por nitrato en la cuenca del río Ebro, habiendo contribuido a mejorar el conocimiento de sus ZVN y a delimitarlas con un alto grado de fiabilidad. Esperamos que esta contribución sirva de base para maximizar la eficacia de los programas de acción para la recuperación de las masas de agua subterránea contaminadas por nitrato en la cuenca del Ebro.

El procedimiento LU-IV es herramienta útil y fiable para identificar y delimitar con precisión las NVZ en el contexto de la cuenca hidrológica. Como emplea parámetros sencillos y fácilmente disponibles para alimentar el modelo, esta metodología es especialmente interesante para aquellos territorios con escasa disponibilidad de datos medioambientales.

5 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Agencia Estatal de Investigación del Ministerio Español de Ciencia, Innovación y Universidades y al Fondo Europeo de Desarrollo Regional la

financiación del Proyecto CGL2016–81110–R (AEI/FEDER, UE), en el que se enmarca esta investigación. Las capas vectoriales de Masas de Agua Subterránea, Red Fluvial, Cuenca del Ebro, Puntos Piezométricos, Mapa Geológico y Zonas Vulnerables de la cuenca del Ebro proceden del Geoportal SITEbro de la Confederación Hidrográfica del Ebro (España), que también nos proporcionó gran parte de la información sobre los niveles freáticos de los acuíferos en formato Excel. Las capas vectoriales del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España SIOSE 2011 y el MDT de 25 m proceden del Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (España). Los rasters de vulnerabilidad intrínseca y de vulnerabilidad a la contaminación por nitrato de la cuenca del río Ebro (España), resultado de esta investigación, pueden descargarse en el siguiente enlace: <https://www.ica.csic.es/index.php/departamentos/departamento-de-suelo-planta-y-calidad-ambiental/contaminacion-difusa/231-principales-logros-recientes>.

REFERENCIAS

Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H. & Petty, R.J. (1987). DRASTIC. A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. Environmental Protection Agency EPA/600/2–87–035, Oklahoma, 622 pp.

Arauzo, M. (2017). Vulnerability of groundwater resources to nitrate pollution: a simple and effective procedure for delimiting Nitrate Vulnerable Zones. *Science of the Total Environment*, 575: 799–812.

Arauzo, M. & Valladolid, M. (2013). Drainage and N–leaching in alluvial soils under agricultural land uses: Implications for the implementation of the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 179: 94–107.

Arauzo, M.; García, G. & Valladolid, M. (2019). Assessment of the risks of N–loss to groundwater from data on N–balance surplus in Spanish crops: An empirical basis to identify Nitrate Vulnerable Zones. *Science of the Total Environment*, 696: 133713.

Arqued, V.M. (2018). Es probable que se amplíen las zonas declaradas como vulnerables por la contaminación con nitratos agrícolas. *Tierras*, 268: 120–122.

Botey, R.; Guijarro, J.A. & Jiménez, A. (2013). Valores normales de precipitación mensual 1981–2010. 55 págs. Dirección de Producción e Infraestructuras, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid, 55 pp.

Commission of the European Communities (2007). Report from the Commission to the Council and the European Parliament on implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources for the period 2000–2003 {SEC (2007) 339}. /* COM/2007/0120 final*/, Brussels.

Confederación Hidrográfica del Ebro (2015). Mapa Geológico de España [mapas en formato digital] 1:50.000. Series MAGNA, Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. <http://iber.chebro.es/geoportal/> (acceso el 29 de abril de 2015).

Confederación Hidrográfica del Ebro (2019a). Aguas afectadas por nitratos de origen agrario (2012–2015) <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=19441&idMenu=3811/> (acceso el 2 de diciembre 2019).

Confederación Hidrográfica del Ebro (2019b). Inicio SITEbro. Geodatos. Descarga de datos cartográficos en formato de fichero agrupados por temáticas; Masas de Agua Subterránea; Red Fluvial; Puntos Piezométricos; Mapa Geológico; Zonas Vulnerables. <http://iber.chebro.es/geoportal/index.htm> (acceso el 2 de diciembre 2019).

Council of the European Communities (1991). Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. 12 December 1991. Official Journal of the European Union L 375, 31/12/1991, Brussels.

Economic and Social Council of the United Nations (2018). Special edition: progress towards the Sustainable Development Goals. Report of the Secretary-General. Chapter II: Where we are in the achievement of the Sustainable Development. Goal 6, Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all. <https://undocs.org/E/2019/68> (acceso el 29 julio de 2019).

European Commission (2013). Report from the Commission to the Council and the European parliament on implementation of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources based on Member State reports for the period 2008–2011. 13 pp. Commission Staff Working Document, Brussels.

Foster, S.S.D. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution (van Duijvanbooden, W. & van Waegeningh, H.G., Eds.), Proceedings and Information No. 38, TNO Committee on Hydrological Research, the Netherlands, 69–86.

IGN (2015). Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España. Documento Técnico SIOSE 2011. Versión 1.1. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.

IGN (2018). Modelo Digital del Terreno – MDT25 [mapas en formato ráster de 25m de resolución]. Instituto Geográfico Nacional, Madrid. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> (acceso el 20 de abril de 2018).

Kumar, P.; Bansod, B.K.S.; Debnath, S.K.; Kumar T., P. & Ghanshyam, C. (2015). Index-based groundwater vulnerability mapping models using hydrogeological settings: A critical evaluation. *Environmental Impact Assessment Review*, 51: 38–49.

Machiwal, D.; Jha, M.K.; Singh, V.P. & Mohan, C. (2018). Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges. *Earth-Science Reviews*, 185: 901–927.

MAGRAMA (2005). Caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias. Tomo V. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

MAGRAMA (2013). Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2011. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Agricultura y Alimentación, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Madrid.

MAGRAMA (2015a). Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2013. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Agricultura y Alimentación, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Madrid.

MAGRAMA (2015b). Informe sobre regadíos en España. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística, Madrid.

MAPAMA (2016). Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2014. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Agricultura y Alimentación, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Madrid.

MAPAMA (2017). Balance del nitrógeno en la agricultura española, año 2015. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Agricultura y Alimentación, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios, Madrid.

MARM (2009). Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España 2000–09 [mapas en formato digital] 1:50.000. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino de España, Madrid.

SIOSE (2011). SIOSE 2011 Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España [mapas en formato digital] 1:25.000. ©Instituto Geográfico Nacional, Madrid. <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=SIOSE> (acceso el 13 de octubre de 2018).

Worrall, F.; Spencer, E. & Burt, T.P. (2009). The effectiveness of nitrate vulnerable zones form limiting surface water nitrate concentrations. *Journal of Hydrology*, 370, 21–28.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leinig Antonio Perazolli possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (1986), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (1991) e doutorado em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1996). Atualmente é professor Livre Docente III do Instituto de Química - Unesp / Araraquara. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica com estudos de Sinterização de Cerâmicos e obtenção de Foto catalisadores Cerâmicos e na área de História da Ciência com ênfase em Química e Engenharia Química. Atua na área de pesquisa nos seguintes temas: óxido de titânio, óxido de estanho, sinterização, voltados para a foto catálise e cerâmicas eletrônicas. Na área de extensão universitária desenvolve trabalhos sobre História da Ciência e da Engenharia Química e sobre a Química das Coisas. Leciona disciplinas na área de Química Tecnológica, Engenharia Química e História da Ciência.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorção 106, 107, 110, 142, 171, 176, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 188
Azeite 147, 148, 149, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 169
Aguacate 147, 148, 149, 150, 151, 153, 154, 155, 156, 157, 158
Aislación térmica 114, 115, 117, 120, 131, 132
Análisis 1, 2, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 16, 20, 23, 24, 26, 30, 32, 69, 86, 87, 89, 90, 95, 116, 129, 131, 134, 136, 137, 138, 139, 141, 142, 144, 162, 163, 167, 173, 186, 188, 189
Antimicrobiana 134, 135, 136, 148, 158, 161, 169
Apatita 186, 187, 188, 189, 191
Aplicaciones 43, 160
A-site substitutions 227
Aspergillus niger 103, 104, 105, 111, 112, 113
Avaliação 47, 58, 59, 63, 64, 66, 67, 68, 250, 253, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 264, 265, 268, 273, 278, 279

B

BiFeO₃ 227, 228, 231, 232, 233
Biomasa 103, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 160

C

Climas cálidos 114, 117, 129, 130
Cohesión social 69
Combustíveis renováveis 214
Composición proximal 160, 168
Compresión 121, 171, 172, 173, 174, 175, 182, 183, 184
Consumidor ético 1, 2, 7, 11, 14
Consumo energético 114, 115, 116, 117, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 217
Consumo ético 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16
Consumo responsable 1
Contaminación Difusa 18, 19, 22, 33
Control interno 89, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102
Cuprita 134, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145

D

Densidad 166, 171, 175, 177, 179, 180, 182, 183, 193, 197, 206, 207, 211, 238, 239, 243, 245, 246

Deposição eletroforética 234, 235, 237, 240, 248

Desarrollo 8, 18, 20, 21, 32, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 69, 70, 75, 76, 77, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 102, 149, 153, 154, 155, 167, 170, 171, 172, 176, 179, 187

Difusão 207, 234, 235, 241, 243, 245, 254

Difusão de Cromo 235

E

Ecosistemas de Emprendimiento 36, 37, 38

Emancipatória 47, 58, 59, 64, 66, 68

Emprendimiento 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45

Espectroscopia 200, 251, 253, 268

Etanol 214, 215, 216, 217, 221, 222, 224, 225

Ética del consumo 1

Extração líquido-líquido 214, 218, 221, 222, 223, 224, 225

F

Ferric properties 227

Flotación 186, 187, 188, 189, 190, 191

G

Glioma 250, 251, 252, 253, 254, 267, 268, 269

Glioma Astrocítico 251

I

Imagem de Perfusão 251

M

Materiais compósitos com matriz de alumínio 193, 194

Metales pesados 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111

Moringa oleífera Lam 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 169

Municipios locales 89

N

Normas 1, 5, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 89, 95, 97, 100, 102

O

Óxido 109, 134, 135, 136, 137, 145, 146, 196, 235

Óxido de estanho 235

P

Percepção 6, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 69, 70, 71, 74, 75, 76, 79, 81, 82, 83, 84, 87, 88

Perfusão 251, 253, 254, 255, 256, 258, 259, 261, 264, 265, 267, 268

Permeabilidade Capilar 251

Porosidad 171, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184

Potencialidades 65, 147, 148, 149, 169

Procedimiento LU-IV 18, 19, 20, 21, 23, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Q

Quelônios marinhos 270, 271, 275

R

Relave 186, 188, 189, 191, 192

Remoción 98, 100, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110

Resíduos de mineração 194

Ressonância Magnética 250, 251, 253, 254, 268

Roca 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 182, 183, 184

S

Santander 36, 37, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 186

Semillas 147, 155, 159, 160, 161, 162, 164, 169

SIG 18, 20, 270, 272

Sinerização Microondas Varistores 235

Sinterização 193, 194, 196, 197, 206, 207, 208, 210, 211, 234, 236, 237, 240, 241, 243, 244, 245, 246, 249

Sistemas de Información Geográfica 19, 20

Staphylococcus aureus 134, 135, 136, 142, 144, 145, 146

T

Tecnologias 47, 49, 52, 53, 57, 59, 60, 67, 68, 79, 83, 120, 145, 184

U

Unidades de Conservação 270, 272, 273, 274, 276, 277

UNIFAC 214, 215, 218, 219, 221

Universidad compleja 69, 88

Z

Zonas Vulnerables a la Contaminación por Nitrato (ZVN) 18, 19