

Alda Rocío Ortiz Muñiz
(Organizadora)



ESTUDOS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SUAS TECNOLOGIAS

VOL II

 EDITORA
ARTEMIS
2026

Alda Rocío Ortiz Muñiz
(Organizadora)



ESTUDOS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SUAS TECNOLOGIAS

VOL II



**EDITORA
ARTEMIS**

2026



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
Organizadora	Prof. ^a Dr. ^a Alda Rocío Ortiz Muñiz
Imagem da Capa	mikkiorso/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, Brasil
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, Universidad Autónoma del Estado de México, México
Prof.^a Dr.^a Alda Rocío Ortiz Muñiz, Universidad Autónoma Metropolitana, México
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, Universidad de Buenos Aires, Argentina
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, Universidad Nacional del Altiplano, Peru
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, Universidad de Sevilla, Espanha
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, Universidad de Guanajuato, México
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos
Prof. Dr. David García-Martul, Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, Espanha



Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil

Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, Universidad Autónoma de Nuevo León, México

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 (USP), Brasil

Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil

Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México

Prof.^a Dr.^a Emilias Darlene Carmen Lebus, Universidad Nacional del Nordeste, 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. Fernando Hitt, Université du Québec à Montréal, Canadá

Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, Universitat de Barcelona, Espanha

Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal

Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia

Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil

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. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, Universidad de Guadalajara, México

Prof. Dr. Håkan Karlsson, University of Gothenburg, Suécia

Prof.^a Dr.^a Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil

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, Brasil

Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, Universidad del Bío-Bío, Chile

Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos

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, Brasil

Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México

Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, Instituto Politécnico Nacional, México

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. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México

Prof. Dr. Juan Porras Pulido, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil



Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil

Prof.^a Dr.^a Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil

Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil

Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, Universidad Nacional Autónoma de México, México

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 Rodriguez, Universidad Santiago de Compostela, Espanha

Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, Universidad de Granada, Espanha

Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil

Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, Universitat Jaume I, Espanha

Prof.^a Dr.^a Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal

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, Brasil

Prof.^a Dr.^a M^aGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Guadalupe Vega-López, Universidad de Guadalajara, México

Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maritza González Moreno, Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba

Prof.^a Dr.^a Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil

Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha

Prof.^a Dr.^a Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México

Prof.^a Dr.^a Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil

Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru

Prof.^a Dr.^a Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil

Prof.^a Dr.^a Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil

Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil

Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil

Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Prof.^a Dr.^a Silvia Inés del Valle Navarro, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina

Prof.^a Dr.^a Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil

Prof.^a Dr.^a Stanislava Kashtanova, Saint Petersburg State University, Russia

Prof.^a Dr.^a Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha

Prof.^a Dr.^a Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal

Prof.^a Dr.^a Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal

Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia

Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, Universidad de León, Espanha

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

E82 Estudos em Ciências Biológicas e suas Tecnologias II [livro eletrônico] / Organizadora Alda Rocío Ortiz Muñiz. – 1. ed. – Curitiba, PR: Editora Artemis, 2026.
il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilíngue.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-82858-33-8

DOI 10.37572/EdArt_280926338

1. Ciências biológicas. 2. Biotecnologia. 3. Microbiologia. I. Ortiz Muñiz, Alda Rocío.

CDD 570

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

Las ciencias biológicas se caracterizan por una amplia diversidad de áreas de estudio que abarcan desde las moléculas, las células y los microorganismos hasta los procesos ecológicos y evolutivos. Esta diversidad permite abordar la complejidad de los sistemas vivos desde distintas escalas de análisis y establecer vínculos entre la investigación básica, el desarrollo biotecnológico, la salud, el ambiente y la reflexión sobre el conocimiento científico.

El segundo tomo de *Estudos em Ciências Biológicas e suas Tecnologias* reúne once capítulos que reflejan esta pluralidad de enfoques y perspectivas. Los trabajos presentan investigaciones experimentales y análisis conceptuales que exploran procesos biológicos, metodologías de estudio y aplicaciones tecnológicas en ámbitos como la biotecnología, los biomateriales, los productos naturales, la microbiología, el control biológico, la biorremediación y la evolución. En conjunto, las contribuciones muestran la diversidad de problemas y aproximaciones que caracterizan la investigación y la reflexión en las ciencias biológicas.

La obra se organiza en tres ejes temáticos que permiten articular los distintos campos de estudio y destacar las principales aportaciones de los capítulos.

El primer eje, **Biotecnología, biomateriales y aplicaciones de recursos naturales**, reúne investigaciones orientadas a la caracterización de recursos naturales, el desarrollo de materiales y la evaluación de sus propiedades biológicas. Los capítulos abordan la optimización de métodos de extracción de proteínas vegetales, la síntesis biogénica de nanopartículas de óxido de zinc mediante el uso de aceite de oliva, la evaluación citogenética de un extracto acuoso de *Taxodium mucronatum*, la elaboración de membranas de quitosano y alcohol polivinílico para el mantenimiento de células troncales mesenquimales y el estudio de la actividad antimicrobiana de aceites ozonizados. En conjunto, estos trabajos muestran distintas estrategias experimentales para el aprovechamiento de recursos naturales y el desarrollo de materiales y productos de interés biotecnológico y biomédico.

El segundo eje, **Microorganismos y estrategias de control biológico y remediación ambiental**, integra estudios sobre microorganismos, comunidades microbianas y materiales naturales en contextos agrícolas y ambientales. Las contribuciones incluyen la caracterización de una cepa bacteriana con capacidad para inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos, el análisis de poblaciones fúngicas y concentraciones de metales en aguas y suelos agrícolas, la evaluación de biomasas naturales para la remoción de cromo hexavalente y el estudio de la capacidad de

Trichoderma asperellum para remover un colorante sintético en solución acuosa. Estos trabajos exploran el potencial de los sistemas biológicos y de los recursos naturales en el control de organismos fitopatógenos y en el desarrollo de alternativas para la remoción de contaminantes.

El tercer eje, **Evolución biológica, origen del ser humano y conocimiento científico**, reúne dos capítulos que abordan cuestiones fundamentales sobre la evolución biológica, el origen del ser humano y la naturaleza del conocimiento científico. Uno de ellos examina la controversia entre evolución y creacionismo, así como los criterios epistemológicos que permiten distinguir las explicaciones científicas de otros tipos de planteamientos. El segundo aborda la cuestión de la existencia del primer ser humano. En conjunto, ambos trabajos incorporan una perspectiva reflexiva sobre la evolución, la interpretación de la evidencia y la construcción del conocimiento en las ciencias biológicas.

La integración de estos tres ejes permite reconocer las ciencias biológicas como un campo dinámico y diverso, en el que la investigación experimental, la innovación tecnológica, el estudio de los problemas ambientales y la reflexión sobre el conocimiento científico ofrecen distintas perspectivas para comprender los sistemas vivos. Los trabajos reunidos en esta obra muestran la amplitud de los temas que conforman este campo de conocimiento y la variedad de enfoques mediante los cuales se exploran sus preguntas y desafíos.

Esperamos que este volumen contribuya a la difusión del conocimiento científico, al intercambio académico entre investigadores y al fortalecimiento de nuevas perspectivas de estudio en las ciencias biológicas y sus tecnologías.

Dra. Alda Rocío Ortiz Muñiz

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Iztapalapa, México

SUMÁRIO

BIOTECNOLOGÍA, BIOMATERIALES Y APLICACIONES DE RECURSOS NATURALES

CAPÍTULO 1..... 1

EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PROTEÍNA PARA HOJAS Y RAÍCES DE *Tecoma stans*

Eduardo Anaya Esteban

Mario Valera Zaragoza

Ariana Arlene Huerta Heredia

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263381

CAPÍTULO 2..... 12

SÍNTESIS BIOGÉNICA DE NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC CON ACEITE DE OLIVA

Mario Valera-Zaragoza

Arely García-Gómez

Ariana Arlene Huerta-Heredia

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263382

CAPÍTULO 3..... 21

EVALUACIÓN CITOGENÉTICA DEL EXTRACTO ACUOSO DE *Taxodium mucronatum* EN VICIA FABA MEDIANTE MICRONÚCLEOS

Saúl Flores-Maya

Ana Belén Palacios Loaeza

Martha Martínez-García

Erick Nolasco Ontiveros

Norberto Alarcón-Herrera

Paulina Abrica-González

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263383

CAPÍTULO 4..... 38

MEMBRANAS A BASE QUITOSANO-ALCOHOL POLIVINÍLICO CON DIVERSAS TOPOGRAFÍAS PARA EL MANTENIMIENTO DE CÉLULAS TRONCALES MESENQUIMALES

David Alejandro Macías Martín

Francisco Josué Avelar Rodríguez

Zaira Yunuen Carvajal García

Flor Yohana Flores Hernández

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263384

CAPÍTULO 5..... 50

USO DE ACEITES OZONIZADOS COMO AGENTES ANTIMICROBIANOS

Gloria Paulina Monterrubio-López

Ricardo Monterrubio-López

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263385

MICROORGANISMOS Y ESTRATEGIAS DE CONTROL BIOLÓGICO Y REMEDIACIÓN AMBIENTAL

CAPÍTULO 6..... 59

***Kosakonia cowanii* Ch1 ISOLATED FROM MEXICAN CHILI POWDER REVEALS GROWTH INHIBITION OF PHYTOPATHOGENIC FUNGI**

Jacqueline González Espinosa

Yoali Fernanda Hernández Gómez

Yomaiko Javier Martínez

Francisco Javier Flores Gallardo

Juan Ramiro Pacheco Aguilar

Miguel Ángel Ramos López

Jackeline Lizzeta Arvizu Gómez

Carlos Saldaña Gutierrez

José Alberto Rodríguez Morales

María Carlota García Gutiérrez

Aldo Amaro Reyes

Erika Álvarez Hidalgo

Jorge Nuñez Ramírez

José Luis Hernández Flores

Juan Campos Guillén

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263386

CAPÍTULO 7.....82

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS Y SUELOS DE TIERRAS AGRÍCOLAS

Louisiana Ivonne Espinosa Pérez

Claudia Margarita Martínez Domínguez

Adriana Rodríguez Pérez
Juan Fernando Cárdenas González
Víctor Manuel Martínez Juárez
Ismael Acosta Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263387

CAPÍTULO 8.....92

REMOCIÓN DE CROMO (VI) EN SOLUCIÓN ACUOSA POR DIFERENTES BIOMASAS NATURALES

Nancy C. Pacheco Castillo
Dalila del Socorro Contreras Briones
Adriana Rodríguez Pérez
Juan Fernando Cárdenas González
Víctor Manuel Martínez Juárez
Ismael Acosta Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263388

CAPÍTULO 9..... 101

REMOCIÓN DE ROJO BÁSICO 46 MEDIANTE *Trichoderma asperellum* EN SOLUCIÓN ACUOSA

Esteban Montiel Palacios
David Antonio Moreno Medina
Veronica Arellano Solis
Jose Luis Gadea Pacheco
Angie Nicole Rios López

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2809263389

EVOLUCIÓN BIOLÓGICA, ORIGEN DEL SER HUMANO Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

CAPÍTULO 10..... 109

¿EVOLUCIÓN O CREACIÓN? DARWIN, CREACIONISMO Y LOS LÍMITES DE LA CONTROVERSI CIENTÍFICA

Humberto Álvarez Sepúlveda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092633810

CAPÍTULO 11..... 121

¿EXISTIÓ EL PRIMER SER HUMANO? EL PROBLEMA DE BUSCAR UN «ADÁN BIOLÓGICO»

Humberto Álvarez Sepúlveda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_28092633811

SOBRE A ORGANIZADORA.....133

ÍNDICE REMISSIVO134

CAPÍTULO 9

REMOCIÓN DE ROJO BÁSICO 46 MEDIANTE *Trichoderma asperellum* EN SOLUCIÓN ACUOSA

Data de submissão: 07/09/2026

Data de aceite: 21/09/2026

Angie Nicole Rios López

Universidad Autónoma del

Estado de Morelo

Escuela de Estudios

Superiores de Xalostoc

Ayala, Morelos, México

Esteban Montiel Palacios

Universidad Autónoma del

Estado de Morelos

Escuela de Estudios

Superiores de Xalostoc

Ayala, Morelos, México

<https://orcid.org/0000-0001-8949-4112>

David Antonio Moreno Medina

Universidad Autónoma del

Estado de Morelos

Escuela de Estudios

Superiores de Xalostoc

Ayala, Morelos, México

<https://orcid.org/0000-0003-1035-6935>

Veronica Arellano Solis

Centro de Bachillerato Tecnológico

Agropecuário 39

Temoac, Morelos, México

<https://orcid.org/0009-0009-3257-2066>

Jose Luis Gadea Pacheco

Universidad Autónoma del

Estado de Morelos

Escuela de Estudios

Superiores de Xalostoc

Ayala, Morelos, México

<https://orcid.org/0000-0001-9341-9289>

RESUMEN: La contaminación por colorantes sintéticos constituye un importante problema ambiental en cuerpos de agua afectados por las descargas de la industria textil. El azocolorante Rojo Básico 46 (RB46) destaca por su elevada persistencia y toxicidad. El uso de microorganismos surge como una opción prometedora para la remoción de estos contaminantes. En este trabajo se evaluó la capacidad de *Trichoderma asperellum* para remover RB46 en solución acuosa y se analizó su comportamiento de crecimiento durante el proceso. La cepa de *T. asperellum* proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Zacatepec, Morelos, México, fue utilizada para preparar un inóculo en extracto de levadura (EL, 5 g L⁻¹), incubado durante 24 h a 28 °C. Posteriormente, se evaluó el crecimiento del hongo en presencia de RB46 a una concentración inicial de 1.2 mM. Se utilizaron como condiciones de referencia el medio de cultivo sin microorganismo y *T. asperellum* cultivado en el mismo medio sin RB46. Todos los ensayos se realizaron por triplicado. La

cinética de crecimiento se determinó mediante conteo directo en cámara de Neubauer y la concentración residual de RB46 se monitoreó por espectrofotometría UV-Vis a 523 nm a las 0, 12, 24, 36 y 48 h. Después de 48 horas, la concentración del colorante disminuyó a 0.23 mM, correspondiente a una remoción aproximada de 81%. Entre las 12 h y 36 h, dicha concentración permaneció constante, lo que sugiere un periodo de adaptación al xenobiótico. Durante las primeras 36 h, el RB46 inhibió el crecimiento de *T. asperellum*; sin embargo, a las 48 h se registró una concentración de 8.4×10^7 esporas ml^{-1} , superando la obtenida en el medio con extracto de levadura, el cual ya se encontraba en fase de muerte (4.3×10^7 esporas ml^{-1}). Estos resultados demuestran el alto potencial de *T. asperellum* para la biorremediación de soluciones acuosas contaminadas con RB46.

PALABRAS CLAVE: azocolorante; biodegradación; lacasas.

REMOVAL OF BASIC RED 46 BY *Trichoderma asperellum* IN AQUEOUS SOLUTION

ABSTRACT: Synthetic dye pollution constitutes a major environmental problem in water bodies affected by textile industry discharges. The azo dye Basic Red 46 (RB46) stands out due to its high persistence and toxicity. The use of microorganisms emerges as a promising option for the removal of these pollutants. In this work, the capacity of *Trichoderma asperellum* to remove RB46 in aqueous solution was evaluated, and its growth behavior during the process was analyzed. The *T. asperellum* strain, provided by the National Institute of Forestry, Agricultural, and Livestock Research (INIFAP), located in Zacatepec, Morelos, Mexico, was used to prepare an inoculum in yeast extract (YE, 5 g L^{-1}), which was incubated for 24 h at 28 °C. Subsequently, fungal growth was evaluated in the presence of RB46 at an initial concentration of 1.2 mM. A culture medium without the microorganism and *T. asperellum* cultured in the same medium without RB46 were used as reference conditions. All assays were performed in triplicate. Growth kinetics were determined by direct counting in a Neubauer chamber, and the residual concentration of RB46 was monitored by UV-Vis spectrophotometry at 523 nm at 0, 12, 24, 36, and 48 h. After 48 hours, the dye concentration decreased to 0.23 mM, corresponding to a removal of approximately 81%. Between 12 and 36 h, the RB46 concentration remained constant, suggesting a period of adaptation to the xenobiotic. During the first 36 h, RB46 inhibited the growth of *T. asperellum*; however, at 48 h, a concentration of 8.4×10^7 spores ml^{-1} was recorded, surpassing that obtained in the medium with yeast extract, which was already in the death phase (4.3×10^7 spores ml^{-1}). These results demonstrate the high potential of *T. asperellum* for the bioremediation of aqueous solutions contaminated with RB46.

KEYWORDS: azo dye; biodegradation; laccases.

1. INTRODUCCIÓN

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), los colorantes se consideran contaminantes peligrosos. Debido a que diversos colorantes sintéticos y sus productos de degradación presentan efectos carcinogénicos y tóxicos, incluso su presencia en

bajas concentraciones puede ocasionar un impacto ambiental significativo. En este contexto, resulta necesario desarrollar tecnologías de tratamiento que sean eficientes, económicamente viables, fáciles de implementar y ambientalmente sostenibles. En el tratamiento de aguas residuales que contienen colorantes se emplean diversos procesos fisicoquímicos y biológicos, entre los que destacan la adsorción, la precipitación, la coagulación-floculación, el intercambio iónico, la separación por membranas, la filtración, la oxidación química y la degradación microbiana (Kumar *et al.*, 2025).

No obstante, estas tecnologías presentan limitaciones importantes, entre ellas una eficiencia variable, elevados costos de operación, procedimientos complejos, una alta generación de lodos y dificultades para su escalamiento a nivel industrial. Bajo estas condiciones, la biorremediación ha surgido como una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas residuales con colorantes, ya que emplea microorganismos capaces de degradar la estructura química de estos compuestos, favoreciendo su transformación, degradación y, en algunos casos, su mineralización completa. Entre los colorantes sintéticos de mayor interés ambiental se encuentra el Rojo Básico 46 (RB46), cuya elevada estabilidad química, toxicidad y persistencia favorecen su permanencia en los cuerpos de agua, particularmente en aquellos receptores de descargas de la industria textil (Hernández-Melchor *et al.*, 2019).

Trichoderma asperellum es un hongo filamentoso con capacidad para degradar compuestos orgánicos complejos mediante la producción de enzimas ligninolíticas, como lacasas, peroxidasas y manganoso peroxidasas, las cuales catalizan la oxidación de estructuras aromáticas presentes en dichos compuestos. Además, produce enzimas hidrolíticas, entre ellas celulasas y quitinasas, que favorecen la descomposición de materia orgánica y su establecimiento en ambientes contaminados (Singh *et al.*, 2023). Asimismo, se ha reportado que *T. asperellum* es capaz de remover colorantes mediante procesos de biosorción sobre su micelio, contribuyendo así a su decoloración (Dahliaty *et al.*, 2025).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia de *Trichoderma asperellum* en la remoción del colorante sintético Rojo Básico 46.

2. METODOLOGÍA

La cepa de *Trichoderma asperellum* fue proporcionada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Zacatepec, Morelos, México. Inicialmente, se preparó el inóculo de *T. asperellum* en un medio de extracto de levadura (5 g L⁻¹), el cual se mantuvo en incubación durante 24 h a 28 °C. Las unidades experimentales constaron de matraces Erlenmeyer. A partir del inóculo, se

evaluó el crecimiento del hongo en presencia del azocolorante Rojo Básico 46 (RB46) a una concentración inicial de 1.2 mM. Se utilizó, como blanco, el medio de extracto de levadura sin inóculo y se comparó el crecimiento celular bajo dos variantes: con adición suplementaria de extracto de levadura (EL) y sin este. Todos los tratamientos se realizaron por triplicado.

La cinética de crecimiento del hongo se determinó mediante conteo directo en cámara de Neubauer. La concentración residual del RB46 se monitoreó mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 523 nm, retirando previamente la biomasa en filtros whatmann 12 y utilizando un espectrofotómetro HACH DR 3900. La concentración del colorante se calculó a partir de la curva de calibración descrita por la ecuación $U.A. = 0.955C + 0.0212$, donde U.A. corresponde a las unidades de absorbancia y C a la concentración del colorante expresada en mM ($R^2 = 0.9995$). Las mediciones se realizaron a las 0, 12, 24, 36 y 48 h de incubación.

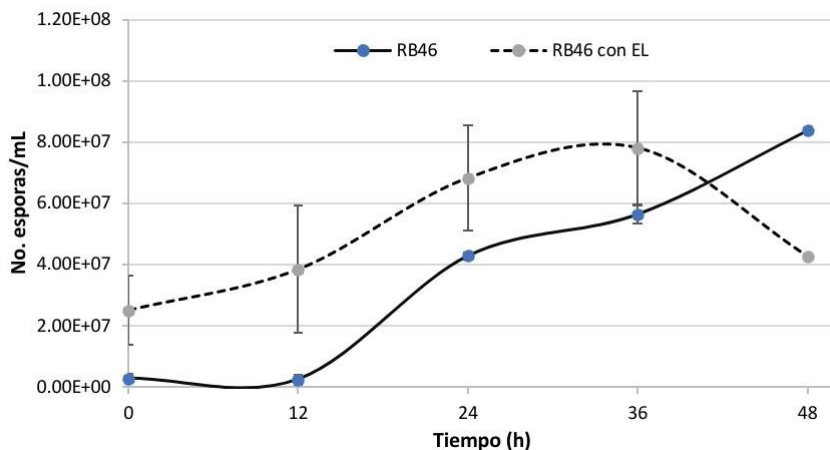
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra que ambas condiciones presentan comportamientos diferentes lo que indica que la presencia de extracto de levadura modifica la respuesta fisiológica de *Trichoderma* en presencia de RB46. En la condición de RB46 sin suplemento de EL, durante las primeras 12 h se observa una fase de adaptación o crecimiento vegetativo en la que aún no se induce la esporulación de forma masiva. A partir de las 24 h se observa un incremento pronunciado en el número de esporas (4.3×10^7 esporas ml^{-1}), seguido de un aumento gradual hasta 5.7×10^7 esporas ml^{-1} a las 36 h y un máximo de 8.4×10^7 esporas ml^{-1} a las 48 h. Este comportamiento sugiere que el hongo mantiene un proceso continuo y estable de formación de esporas conforme avanza el tiempo de cultivo.

Por el contrario, la adición suplementaria de EL (RB46 con EL) genera una producción inicial considerablemente mayor, registrando 2.5×10^7 esporas ml^{-1} desde el inicio del bioensayo. La esporulación en esta curva alcanza un máximo cercano a 7.8×10^7 esporas ml^{-1} a las 36 h. Sin embargo, a las 48 h se observa una disminución drástica hasta alcanzar las 4.3×10^7 esporas ml^{-1} , lo que indica que el efecto positivo del EL sobre la producción de esporas es transitorio y acelera la entrada a una fase de muerte celular. Así, el EL anticipa el proceso de diferenciación celular, pero propicia condiciones que limitan la estabilidad de las esporas al final del cultivo, posiblemente debido al agotamiento acelerado de nutrientes o a la acumulación crítica de metabolitos secundarios.

Si el objetivo es maximizar la densidad celular y mantener la viabilidad al término de las 48 h, los datos demuestran que el sistema con RB46 libre de EL alcanza un rendimiento superior y sostenido. El patrón de crecimiento doble sigmoide observado en la curva sin suplemento podría estar asociado con cambios en el metabolismo de *T. asperellum* durante la adaptación a la presencia de RB46.

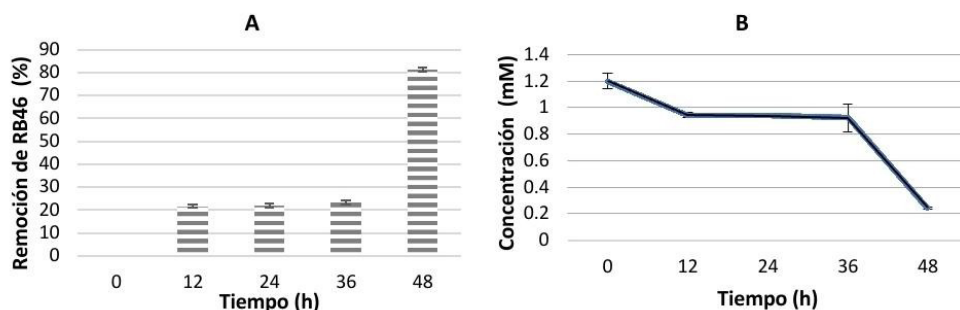
Figura 1. Cinética de crecimiento de *T. asperellum*.



A nivel de remoción, se logró degradar el 81% del RB46 al término de las 48 h, alcanzando una concentración final de 0.23 mM (Figura 2A). En la Figura 2B se observa que durante las primeras 12 horas, se registró una disminución inicial hasta aproximadamente 0.95 mM, equivalente a una reducción cercana al 20 %. Posteriormente, entre las 12 y 36 horas, la concentración permaneció prácticamente constante en torno a los 0.92 mM, lo que coincide con el periodo de estabilización y adaptación metabólica del hongo frente al xenobiótico descrita en la cinética celular.

A partir de las 36 h se presentó el cambio más importante del experimento, observándose una disminución abrupta hasta las 48 h. Esta reducción representa el mayor pico de actividad del proceso. Una vez que el hongo completó su adaptación y alcanzó su máxima densidad en la curva sigmoidea, el sistema incrementó drásticamente su capacidad de biodegradación, apoyado por mecanismos combinados de bioadsorción en el micelio y la secreción de enzimas ligninolíticas como lacasas y NADH reductasas (Moreno-Medina *et al.*, 2014).

Figura 2. Remoción de azocolorante RB46. **A)** Porcentaje de remoción. **B)** Cinética de remoción.



Dahliaty *et al.* (2025) determinaron que la mayor tasa de decoloración por *Trichoderma asperellum* fue de 85 % en 24 h. La biodegradación enzimática fue el factor que más contribuyó a la decoloración, en comparación con la biosorción por el micelio. En su estudio la actividad de la lacasa fue inducida por el azul de metileno (50 mg l^{-1}), registrándose el nivel más alto a pH 4.5. Singh *et al.* (2023) obtuvieron niveles máximos de decoloración para naranja de metilo, el verde de malaquita y el violeta cristal del 88.89 %, 71.09 % y 92.75 %, respectivamente, utilizando una concentración de colorante de 100 mg l^{-1} , un pH de 6.5 y una temperatura de 25°C . Mencionan que el aislado fúngico *Trichoderma asperellum* suele producir quitinasas, celulasas y lacasas.

Los resultados obtenidos en este estudio muestran concordancia además con Wimalasena *et al.* (2025) quienes evaluaron la capacidad de algunos hongos para degradar colorantes comúnmente usados en laboratorios: rojo congo, cristal violeta, verde de malaquita y safranina. Reportan que *Trichoderma* sp. logra decolorarlos hasta en un 60 %, a excepción de rojo congo. Algunas especies fúngicas son capaces de producir enzimas lignolíticas incluyendo lacasas, manganeso peroxidasas y lignino peroxidasas (Borham *et al.*, 2023).

Trichoderma spp. están bien documentados por su capacidad de biorremediación, particularmente en la degradación de diversos contaminantes (Racić *et al.*, 2023; Voloshchuk *et al.*, 2024; Conte *et al.*, 2025). Por ejemplo *Trichoderma harzianum* (AUMC14897) realiza decoloración eficiente de colorantes en el tratamiento de aguas residuales mediante la producción de la enzima lacasa, degradando eficazmente el Novatic Green XBN, el Red 4BL y el Reactive T. Blue G (Salem *et al.*, 2024). Además, *T. viride* muestra eficiencias de decoloración del 36 %, 73 % y 87 % para los colorantes Synozol Red, Yellow y Navy Blue, respectivamente (Ali *et al.*, 2023). Al-Hawash *et al.* (2018) reportan que *T. harzianum* demuestra un potencial significativo para la degradación de hidrocarburos, principalmente a través de la producción de la enzima lacasa.

4. CONCLUSIONES

Trichoderma asperellum mostró una alta eficiencia en la remoción del Rojo Básico 46, alcanzando un 81% de eliminación en 48 horas. Su capacidad para crecer en presencia del colorante, incluso superando al testigo en condiciones adversas, lo posiciona como un candidato prometedor para estrategias de biorremediación de efluentes contaminados con colorantes sintéticos.

REFERENCIAS

Al-Hawash, A. B., El-Kady, M. Y., Ghanem, K. M., and Mansour, M. P. (2018). Principles of microbial degradation of petroleum hydrocarbons in the environment. Egypt. J. Aquat. Res. 44 (2), 71-76. doi: 10.1016/j.ejar.2018.06.001

Ali, E., Amjad, I., and Rehman, A. (2023). Evaluation of azo dyes degradation potential of fungal strains and their role in wastewater treatment. Saudi J. Biol. Sci. 30, 103734. doi: 10.1016/j.sjbs.2023.103734

Borham, A., Okla, M. K., El-Tayeb, M. A., Gharib, A., Hafiz, H., Liu, L., Zhao, C., Xie, R., He, N., Zhang, S., Wang, J., & Qian, X. (2023). Decolorization of textile azo dye via solid-state fermented wheat bran by *Lasiodiplodia* sp. YZH1. J. Fungi. 9, 1069. doi: 10.3390/jof9111069.

Conte, E. D., da Rosa, E. J., Silvestrini, G. R., Motta, D. D. S., de Oliveira, C. F., Cocco, C., Pauletti G.F., Silvestre W.P., Dal Magro T., Schwambach J. (2025). Can *Trichoderma* spp. contribute to the bioremediation and biostimulation of plants in soil contaminated with herbicides? ACS Omega. 10 (2), 2243-2252. doi: 10.1021/acsomega.4c09197

Dahliaty, A. Nurulita Y., Ismawati, Wulandari N., Kurniati D., Yanti, Tjandrawati N.T. (2025). Bioremediation and Detoxification of the Textile Dye Methyl Blue by *Trichoderma asperellum* LBKURCC1 with Laccase Activity. Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology, 10(2), jtbb16121. doi: 10.22146/jtbb.16121

Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). *Trichoderma*: Importancia agrícola, biotecnológica y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences, 35(1), 98-112.

Kumar, M.; Mishra, A.; Patel, S.K.; Kushwaha, J.; Singh, S.; Mishra, V.; Singh, D.; Singh, V.; Giri, B.S.; Singhania, R.R.; Singh D. 2025. Environmental Impacts and Strategies for Bioremediation of Dye-Containing Wastewater. Bioengineering, 12, 1043. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12101043>

Moreno-Medina, D. A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. L. (2014). Removal of methyl parathion and coumaphos pesticides by a bacterial consortium immobilized in *Luffa cylindrica*. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 30(1), 51-63.

Racić, G., Vukelić, I., Kordić, B., Radić, D., Lazović, M., Nesić, L., & Panković, D. (2023). Screening of native *Trichoderma* species for nickel and copper bioremediation potential determined by FTIR and XRF. Microorganisms 11, 815. doi: 10.3390/microorganisms11030815

Salem, M. M., Mohamed, T. M., Shaban, A. M., Mahmoud, Y. A. G., Eid, M. A., and El-Zawawy, N. A. (2024). Optimization, purification, and characterization of laccase from a new endophytic *Trichoderma harzianum* AUMC14897 isolated from *Opuntia ficus-indica* and its applications in dye decolorization and wastewater treatment. Microb. Cell Fact. 23, 266. doi: 10.1186/s12934-024-02530-x

Singh, S., Khan, N. A., López-Maldonado, E. A., Narasimhappa, P., & Kumar, S. (2023). Bioremediación de colorantes azoicos y triphenilmetano utilizando una cepa indígena de *Trichoderma asperellum*: Evaluación de mecanismos y eficacia. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(4), 462-471.

Voloshchuk, N., Irakoze, Z., Kang, S., Kellogg, J. J., and Wee, J. (2024). Three ecological models to evaluate the effectiveness of *Trichoderma* spp. for suppressing aflatoxigenic *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. *Toxins* 16, 314. doi: 10.3390/toxins16070314.

Wimalasena M.K., Wijayawardene N.N., Dharmarathne S.B., Gunasekara N.M., Ekanayake M.S., Jayalal R.G.U., Bhat J.D., Dawoud T.M., Zhang G-Q., Weerasinghe D.C., de Zoysa H.K.S., Dai D-Q., Wang H. and Bamunuarachchige T.C. (2025). *In-vitro* evaluation of synthetic dye decolourisation by filamentous ascomycetous fungi isolated from freshwater environments in Sri Lanka and development of a prototype for addressing environmental pollution from synthetic dye contamination. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 15: 1650835. doi: 10.3389/fcimb.2025.1650835.

SOBRE A ORGANIZADORA

La **Dra. Alda Rocío Ortiz Muñiz** es bióloga, maestra y doctora en Ciencias por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Desde 1979 desarrolla actividades académicas y de investigación en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I), donde actualmente es Profesora Titular “C” de tiempo completo en el Departamento de Ciencias de la Salud de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud.

Es fundadora y responsable del Laboratorio de Biología Celular y Citometría de Flujo de la UAM-I. Sus principales líneas de investigación son: 1) el estudio de los efectos asociados con la desnutrición y la obesidad, con énfasis en alteraciones celulares, citogenéticas y genómicas; y 2) la aplicación de la citometría de flujo en investigación básica y clínica para el análisis de procesos celulares en diferentes condiciones fisiológicas y patológicas.

Ha dirigido proyectos de investigación, tesis de licenciatura y posgrado, y ha contribuido a la formación de recursos humanos especializados en las áreas de nutrición, genética toxicológica, biología celular y citometría de flujo. Sus investigaciones se han centrado en el estudio de la inestabilidad genómica, la genotoxicidad y la evaluación de biomarcadores celulares en modelos experimentales y poblaciones humanas.

Ha publicado artículos científicos, capítulos de libro y trabajos de divulgación, además de participar activamente en redes de colaboración académica. Fue Presidenta de la Sociedad Mexicana de Genética durante el periodo 2003–2005 y es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores desde 1986. Actualmente cuenta con el nombramiento de Investigadora Nacional Nivel III.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2501-2916>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aceite de aguacate 50, 55, 57

Aceite de girasol 50, 53, 54, 56, 57

Aceite de oliva 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 58

Aceite ozonizado 50, 52, 53, 54

Aguas 82, 83, 85, 93, 94, 99, 100, 103, 106

Alcohol polivinílico 38, 39, 40, 42, 46, 47

Ammonium sulfate precipitation 1

Antimicrobiano 13, 24, 50, 52, 53, 55, 56, 57

Azocolorante 101, 102, 104, 106

B

Biocontrol 60, 62, 70, 75, 76, 78, 79

Biodegradación 102, 105, 106

Biomassas naturales 92, 93

Biorremediación 90, 93, 95, 102, 103, 106, 107

C

Células troncales mesenquimales 39, 40, 42, 45, 46, 47

Chili powder 59, 60, 62, 74, 75, 79, 80

Citotoxicidad 22, 25, 27, 33, 35

Contaminación 26, 83, 84, 90, 91, 93, 101, 107

Creacionismo 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 119

Cromo (VI) 92, 93, 94, 99, 100

Cupressaceae 22, 37

D

Darwinismo 109

Demarcación científica 109, 111

E

Eliminación 90, 93, 99, 100, 107

Especiación 111, 117, 121, 123, 124, 125

Evolución biológica 109, 110, 122

Evolución humana 121, 122

Extracción de proteína de plantas 1

F

Fungal pathogens 60, 64, 71

G

Genética de poblaciones 118, 121, 123, 129

Genome sequencing 60, 62, 64, 74, 75, 77, 78

H

Homo sapiens 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132

Hongos contaminantes 83, 84

I

Índice mitótico 22, 27, 28, 29, 33, 34, 35, 36

K

Kosakonia cowanii Ch1 59, 60, 61

L

Lacasas 102, 103, 105, 106

M

Membranas 13, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 103

Metales pesados 82, 83, 84, 85, 86, 90, 91, 93, 94, 99

Morfología 12, 18, 19, 20, 39, 40, 42, 46, 48, 122, 127

N

Nanopartículas 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20

Naturaleza de la ciencia 109, 118

O

Óxido de zinc 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19

P

Paleoantropología 121, 122, 123

Planta medicinal 3, 22

Q

Quitosano 38, 39, 40, 42, 43, 46, 47, 48

S

Síntesis biogénica 12, 18, 20

Suelos 82, 83, 84, 94

T

Taxodium huegelii 22, 37

TCA/acetona 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

Tierras agrícolas 82, 83

TRI-Reagent 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9

V

Volatile organic compounds 60, 62, 64, 70, 72, 74, 80

