

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2



Daniel Sant'Ana  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

2

Daniel Sant'Ana  
(Organizador)

  
Atena  
Editora  
Ano 2021



**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo 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).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Secconal Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andreza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista



**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Giovanna Sandrini de Azevedo  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Daniel Sant'Ana

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

B299 Base de conhecimentos gerados na engenharia ambiental e sanitária 2 / Organizador Daniel Sant'Ana. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-745-1

DOI 10.22533/at.ed.451211901

1. Engenharia Ambiental e Sanitária. 2.  
Conhecimentos. I. Sant'Ana, Daniel (Organizador). II. Título.  
CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

A coleção *“Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária”* tem como objetivo disseminar o estado atual do conhecimento das diferentes áreas das ciências ambientais e sanitárias, apresentando a evolução do campo científico por meio de diferentes tipos de trabalhos que abordam os aspectos tecnológicos, políticos, econômicos, sociais e ambientais desta disciplina.

Os processos de produção industrial têm gerado grandes volumes de efluentes que podem causar sérios danos ambientais caso os contaminantes presentes na água não sejam removidos. Efluentes da indústria têxtil descarregam corantes em seus resíduos e, com isso, os primeiros três capítulos apresentam diferentes processos de tratamento para sua remoção.

Um dos desafios atuais no tratamento de efluentes está na remoção eficaz de contaminantes emergentes. Os capítulos subsequentes apresentam técnicas de adsorção são apresentadas para remoção de antibiótico em efluentes doméstico (Capítulo 4) e fosfato em sistemas de tratamento de águas residuárias (Capítulo 5). Soluções alternativas no processo de tratamento do esgoto doméstico (Capítulo 7), ou até mesmo o reúso de água provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 6), promovem economia financeira e reduzem impactos ambientais.

Ainda há muito o que evoluir na gestão de resíduos sólidos, desde sua geração até a sua disposição final. Mesmo assim, diferentes estudos vêm apontando soluções com o intuito de mitigar impactos ambientais. Por exemplo, no Capítulo 8, vemos a busca de soluções no processo de secagem de lodo provenientes de lagoas de estabilização (Capítulo 8) para seu aproveitamento como fertilizante ou condicionador de solo.

Evidentemente, quanto maior o número de habitantes de uma cidade, maior são os problemas gerados por resíduos urbanos. Com isso, o Capítulo 9 apresenta indicadores de geração de resíduos domésticos como forma de categorizar o tipo de resíduo e estimar o volume sendo gerado diariamente. É de suma importância traçar um plano de ação para estimular a reciclagem de resíduos sólidos, otimizar os processos de reciclagem (Capítulo 10) e promover a conscientização e educação da população (Capítulo 11). Pois o descuido no descarte de resíduos pode causar sérios danos ambientais pela contaminação do solo (Capítulos 12 e 13).

Um dos maiores desafios do século XXI está na redução da emissão de poluentes na atmosfera, não apenas pelo seu impacto sobre as mudanças climáticas, mas também pelo seu impacto na saúde pública. Com isso, os últimos capítulos abordam os danos ambientais causados por queimas controladas na agricultura, indústria e queima de combustíveis fósseis.

Este segundo volume contou com a contribuição de pesquisadores de diferentes

partes do país, México e Inglaterra, trazendo de forma interdisciplinar, um amplo espectro de trabalhos acadêmicos relativos ao tratamento de efluentes industriais, tratamento de esgotos domésticos, reúso de água, gestão de resíduos, contaminação ambiental e qualidade do ar. Por fim, desejo que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Daniel Sant'Ana

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DE PROCESOS FOTOCATALÍTICOS APLICADOS A COLORANTES INDIGOIDES**

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Marina Violeta Gómez Chávez

Verónica Camargo

**DOI 10.22533/at.ed.4512119011**

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **DECOLORACIÓN DEL COLORANTE ÍNDIGO CON *ASPERGILLUS NIGER* INMOVILIZADO SOBRE CELULOSA OBTENIDA DE ESPINAS DE NOPAL**

Maria Elba Ortiz Romero Vargas

Federico Augusto Trampe Torija

Raymundo Guzmán Gil

Margarita González-Brambila

José Luis Contreras Larios

Marina Violeta Gómez Chávez

**DOI 10.22533/at.ed.4512119012**

### **CAPÍTULO 3..... 25**

#### **DESCOLORAÇÃO DE ALARANJADO DE METILA EM BATELADA E EM PROCESSO CONTÍNUO**

Cássia Sidney Santana

Otávio Henrique Campos Hamdan

Alisson Henrique Marques da Silva

Bruno Andrade Trindade

Daniele Massote Gibram

Marcelo da Silva Batista

**DOI 10.22533/at.ed.4512119013**

### **CAPÍTULO 4..... 35**

#### **ADSORÇÃO DO ANTIBIÓTICO SULFAMETOXAZOL EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO CARVÃO ATIVADO**

Ismael Laurindo Costa Junior

Bruna Ataíde Barros Fonseca

Juliana Bortoli Rodrigues Mees

**DOI 10.22533/at.ed.4512119014**

### **CAPÍTULO 5..... 55**

#### **AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DE FOSFATO POR GOETHITA NATURAL OBTIDA POR PROCESSO DE DISSOLUÇÃO SELETIVA EM COMPARAÇÃO COM GOETHITA NANOPARTÍCULA SINTÉTICA**

Marcelo Hidemassa Anami

Nathalia Pravatto dos Santos

Gabriella de Moraes Valentim

Maria Eduarda Aranega Pesenti

Leonardo Carmezini Marques  
Jefferson Sussumu de Aguiar Hachiya  
**DOI 10.22533/at.ed.4512119015**

**CAPÍTULO 6..... 66**

**AVALIAÇÃO DA PRÁTICA DE REÚSO COM EFLUENTE DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO**

Marcel Chacon de Souza  
Andre Luis Calado Araújo  
Juliana Delgado Tinôco Araújo

**DOI 10.22533/at.ed.4512119016**

**CAPÍTULO 7..... 74**

**USO DE FLOCOS DE PEAD RECICLÁVEL (POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE) COMO MEIO SUPORTE EM REATOR MBBR TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO**

Bruno de Oliveira Freitas  
Maria Teresa Hoffmann  
Luiz Antônio Daniel

**DOI 10.22533/at.ed.4512119017**

**CAPÍTULO 8..... 82**

**ESTUDO DE SECAGEM DE LODO DE LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO EM ESTUFA AGRÍCOLA**

Leticia Amadeu Freddi  
Danielle Bolandim Costa  
Tsunao Matsumoto

**DOI 10.22533/at.ed.4512119018**

**CAPÍTULO 9..... 95**

**GENERACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SOLIDOS DOMICILIARIOS EN CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO**

José Luis Guevara Franco  
Laura Patricia Flores Castillo  
Norma Angélica Oropeza García  
José Alfonzo Canche Uuh  
Alondra Martínez Flores

**DOI 10.22533/at.ed.4512119019**

**CAPÍTULO 10..... 99**

**IDENTIFICAÇÃO DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS PELO TESTE DE CHAMA**

César Augusto Canciam

**DOI 10.22533/at.ed.45121190110**

**CAPÍTULO 11..... 107**

**PROJETO ESCOLA RESÍDUO ZERO – PERZ (ESTUDO DE CASO EM GOIÂNIA)**

Diógenes Aires de Melo  
Giovane Moraes Toledo  
Camila Batista do Carmo

Fabiola Adaianne Oliveira  
Patrícia Elias Sahium  
**DOI 10.22533/at.ed.45121190111**

**CAPÍTULO 12..... 125**

**CONTAMINAÇÃO POR METAIS TÓXICOS EM ATERROS: IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE E À SAÚDE HUMANA**

Lúrian Sâmia de Lacerda Ferreira  
Luze Daiane da Silva Pereira  
Ruy Bessa Lopes

**DOI 10.22533/at.ed.45121190112**

**CAPÍTULO 13..... 130**

**EFEITO DO PH NA LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIDADE DE COMPOSTOS DA AREIA DESCARTADA DE FUNDIÇÃO**

Luanna Di Mario Rocha  
Maria Magdalena Ribas Döll  
Lilian Tais de Gouveia

**DOI 10.22533/at.ed.45121190113**

**CAPÍTULO 14..... 145**

**MUDANÇA TEMPORAL DO USO DO SOLO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PEDRA DO CAVALO**

Israel Henrique Ribeiro Rios  
Ana Júlia Dantas Pitangueira  
Lis Correia Barreto

**DOI 10.22533/at.ed.45121190114**

**CAPÍTULO 15..... 159**

**<sup>14</sup>C COMO TRAZADOR DE QUEIMA DE BIOMASSA EN MÉXICO**

Marina Violeta Gómez Chávez  
Maria Elba Ortiz Romero Vargas  
Corina Solís Rosales  
Efraín Chávez Lomelí  
Javier Miranda del Campo  
Javier Aragón Navarro  
Miguel Ángel Martínez Carrillo  
Telma Gloria Castro  
Oscar Augusto Peralta Rosales

**DOI 10.22533/at.ed.45121190115**

**CAPÍTULO 16..... 170**

**ESTUDO DA DEMANDA DE QUEIMA CONTROLADA DE CAMPOS NATIVOS EM MUNICÍPIOS DA REGIÃO SERRANA DE SANTA CATARINA NOS ANOS DE 2009 A 2018**

Débora Cristina Correia Cardoso  
Daniely Neckel Rosini  
Jordana dos Anjos Xavier  
Valter Antonio Becegato

Vitor Rodolfo Becegato  
Alexandre Tadeu Paulino

**DOI 10.22533/at.ed.45121190116**

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>185</b>
<b>MEASUREMENT AND MATHEMATICAL MODELLING OF ODOR GASES IN A COLLAGEN AND GELATINE PLANT</b>	
Rafael Geha Serta	
Ângelo Breda	
Juliana Pilato Rodrigues	
Marcio Barreiro Gonçalves	
Antônio Augusto Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.45121190117</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>192</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>193</b>



## DECOLORACIÓN DEL COLORANTE ÍNDIGO CON *ASPERGILLUS NIGER* INMOVILIZADO SOBRE CELULOSA OBTENIDA DE ESPINAS DE NOPAL

Data de aceite: 04/01/2021

Data de submissão: 06/11/2020

### **Maria Elba Ortiz Romero Vargas**

Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Básicas e Ingeniería Azcapotzalco, Ciudad de México. México

### **Federico Augusto Trampe Torija**

Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Básicas e Ingeniería Azcapotzalco, Ciudad de México. México

### **Raymundo Guzmán Gil**

Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Básicas e Ingeniería Azcapotzalco, Ciudad de México. México

### **Margarita González-Brambila**

Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Básicas e Ingeniería Azcapotzalco, Ciudad de México. México

### **José Luis Contreras Larios**

Universidad Autónoma Metropolitana, División de Ciencias Básicas e Ingeniería Azcapotzalco, Ciudad de México. México

### **Marina Violeta Gómez Chávez**

Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México  
<https://orcid.org/0000-0002-7623-6875>

**RESUMEN:** En el presente trabajo se obtuvo un 89% de decoloración de índigo carmín

mediante una fermentación con *Aspergillus niger* inmovilizado sobre celulosa obtenida de espinas de nopal. Para esto se diseñó un experimento adicionando co-sustrato y controlando el pH en el medio de cultivo. Inicialmente se pre-adaptó al hongo a vivir en agar contaminado con índigo carmín a una concentración de 50 ppm para que en la inoculación en medio líquido con una concentración de 68 ppm de índigo carmín pudiera generar enzimas que degradaran el contaminante y lo usara como fuente de carbono. **PALABRAS CLAVE:** *Aspergillus niger*, Índigo carmín, Celulosa, Colorantes, Tratamiento de Agua.

### DECOLORIZATION OF INDIGO DYES WITH *ASPERGILLUS NIGER* IMMOBILIZED ON CELLULOSE OBTAINED FROM CACTUS

**ABSTRACT:** In this paper was obtained an 89% indigo carmine's discoloration by fermentation with *Aspergillus niger* immobilized on cellulose obtained from nopal spines. For this, was designed an experiment adding co-substrate and controlling pH in medium culture. First pre-adapted to *Aspergillus niger* to live on contaminated agar with indigo carmine at a concentration 50 ppm for that in inoculation in medium liquid with a concentration 68 ppm of indigo carmine it could generate enzymes for degradation of contaminated and will use it as a carbon source.

**KEYWORDS:** *Aspergillus niger*, Indigo carmine, Cellulose, Dyes, Wastewater.

## DESCOLORAÇÃO DE CORANTES ÍNDIGO COM *ASPERGILLUS NIGER* IMOBILIZADO EM CELULOSE OBTIDA DE CACTO

**RESUMO:** Neste trabalho foi obtida uma descoloração de 89% do índigo carmim por fermentação com *Aspergillus niger* imobilizado em celulose obtida de espinhos de nopal. Para isso, foi elaborado um experimento adicionando co-substrato e controlando o pH em meio de cultura. Primeiro pré-adaptado ao *Aspergillus niger* para viver em ágar contaminado com índigo carmim na concentração de 50 ppm para que na inoculação em meio líquido com uma concentração de 68 ppm de índigo carmim poderia gerar enzimas para degradação de contaminados e irá usá-lo como carbono fonte.

### INTRODUCCIÓN

La industria textil descarga residuos de sus procesos químicos a los efluentes, generando un grave problema de contaminación por colorantes, mordentes, suavizantes, detergentes, entre otros. Con el fin de evitar esta situación, se han estudiado diversos procesos de tratamiento de agua, entre ellos se encuentran procedimientos químicos, físicos y biológicos, por separado o sus mezclas (Kusvuran *et al.*, 2004; Legersk, Chmelov, y Ondrejovi, 2016; Rai *et al.*, 2005). Actualmente diversas investigaciones biotecnológicas se han dirigido a la biorremediación de agua residual principalmente por su alta eficiencia y bajo costo.

Estos procesos biotecnológicos recrean artificialmente a los naturales llevando a cabo la limpieza del agua residual, tal como sucede por medio de diversos organismos como lo son bacterias, protozoos, algas y hongos, una opción viable es el uso de hongos lignolíticos (Gómez-Bertel *et al.*, 2008). Los biorreactores son procesos innovadores de dicha área, un biorreactor permite que haya crecimiento biológico (bacterias, hongos, entre otros), ya sea en condiciones aerobias o anaerobias, es decir, estos biorreactores permiten la mezcla de organismos y materiales con el fin de degradar contaminantes, como los presentes en el agua residual (Hopp, 1994).

Se sabe que organismos del reino fungi tienen la capacidad de degradar lignina, celulosa y hemicelulosa. Por ejemplo: *Pycnoporus cinnabarinus* que es un hongo de pudredumbre blanca, el cual produce enzimas lignonilíticas, pectinasas, hemicelulolíticas y celulolíticas, las cuales son responsable de que se pueda degradar la lignocelulosa hasta glucosa (Eggert *et al.*, 1996). Sin embargo, *Aspergillus sp.* no es capaz de degradar la lignocelulosa ya que carece de enzimas lignonilíticas, aunque un estudio reportado por Fontana (2012) menciona que dicho hongo es capaz de degradar pectina ya que produce pectinasas, esto sugiere que es posible utilizar sustratos que permitan su crecimiento e inmovilización (soporte/sustrato) (Arroyo M. 1998; Fernández *et al.*, 2009), aprovechando de esa manera la celulosa producida por un residuo agroindustrial como las espinas del nopal, favoreciendo la biodegradación de contaminantes como el índigo carmín presente en efluentes de aguas residuales de la industria textil.

Los colorantes textiles son contaminantes debido a su toxicidad (López y Martín Crespi, 2015), cabe señalar que el índigo carmín es un colorante natural, proveniente de la planta *Indigofera tinctoria*, aunque desde 1892 se ha fabricado sintéticamente (Doerner, 1998), su uso se popularizó debido a sus diversas aplicaciones como en el teñido de prendas de mezclilla. Este colorante es muy estable a la luz y al calor, por esas características es que existen muestras de pinturas y textiles que han prevalecido por milenios a la descomposición fisicoquímica. De hecho, el azul maya una mezcla de arcilla con este colorante, fue empleado por los mayas para adornar sus construcciones, esto da una idea de su resistencia a la biodegradación enzimática o microbiana (Reyes-Valerio, 2006; Yacaman et al 1996).

Una alternativa para el aprovechamiento de los residuos provenientes del desespinado del nopal-verdura (espinas), es a través de su aplicación en procesos biotecnológicos, donde sean previamente tratados para la obtención de celulosa y en seguida puedan ser utilizados como materia prima, en este caso soporte/sustrato, es decir, para inmovilizar a *Aspergillus niger* y mediante la generación de enzimas biodegradar índigo carmín, se sabe que este colorante está presente en efluentes textiles, los cuales por su toxicidad tienen un impacto negativo para el humano y diversos ecosistemas.

## OBJETIVO

Esta investigación se centró en adaptar al microorganismo *Aspergillus niger* a vivir en índigo carmín mediante la producción de enzimas extracelulares capaces de degradar el colorante utilizando una fermentación en un biorreactor de tanque agitado.

## ANTECEDENTES

Los residuos agroindustriales son un gran problema ambiental ya que representan un importante desecho del sector alimenticio. Aunque, estos residuos se utilizan como alimento para ganado, es habitual, verterlos al ambiente, lo que conlleva a la contaminación de los cuerpos de agua y suelos debido a la alta carga orgánica. Sin embargo, esta estrategia sólo resuelve de manera parcial el problema, ya que el volumen en que son generados es mayor que el de su demanda como alimento (Saval, 2012). De aquí que, los residuos agroindustriales representan un gran potencial para ser empleados en procesos de base biotecnológica, debido a su bajo costo y su composición nutricional, adicionalmente representan una fuente importante de carbono, nitrógeno y minerales (Valdez *et al.*, 2008), que pueden ser utilizados como sustrato para el crecimiento de los microorganismos y la producción de compuestos de alto valor agregado derivados de su metabolismo, como el caso de biocombustibles (Fernández *et al.*, 2009)

Los materiales lignocelulósicos que contiene *Opuntia ficus-indica* (nopal) constan

principalmente de lignina, celulosa, pectina y hemicelulosa (Eggert *et al.*, 1996), la celulosa es el compuesto más abundante en la pared celular, la rigidez de las espigas se debe a la organización de este polímero. Considerando esto se da la composición de cada uno de los materiales.

Con la inmovilización se localiza a un microorganismo en una región dada para que pueda producir enzimas que permitan obtener energía a partir de materia orgánica. Existen dos tipos de inmovilización para microorganismos: atrapamiento y apego. Atrapamiento se refiere a la retención de microorganismos en los intersticios de material fibroso o poroso. Acoplamiento significa adherencia de microorganismos sobre superficies debido a la adhesión química. Estos tipos de inmovilización como se ha mencionado aumentan la eficiencia de biodegradación (Kaushik y Malik, 2009).

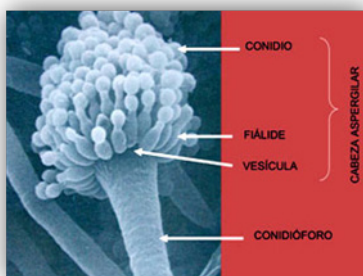
El avance de la biotecnología ha permitido la aplicación de la inmovilización a nivel industrial, sin embargo, aún existen factores que pueden afectar un proceso. A continuación, se especifican las ventajas y desventajas de la inmovilización:

- Como ventajas se pueden destacar:
  - a. El aumento de la estabilidad de la enzima o microorganismo;
  - b. la posible reutilización del derivado, por lo que disminuyen los costos de la siguiente operación;
  - c. la posibilidad de diseñar un biorreactor de fácil manejo y control
- Como desventajas se tienen:
  - d. Alteración del microorganismo o enzima por lo que sufren una modificación;
  - e. la heterogeneidad del microorganismo-soporte/sustrato, esto indica que distintas fracciones de biomasa están inmovilizadas con pocas o muchas partes del soporte/sustrato;
  - f. puede ocurrir pérdida de la actividad enzimática en un proceso de adaptación (Arroyo M., 1998).

Los hongos son microorganismos eucariotas por lo que constan de un núcleo, su pared celular es normalmente rígida la composición de esta varía según la subclase, sin embargo, en ellos están presentes la celulosa, quitina y glucanos, la mayoría son aerobios, sin embargo, muchos de ellos pueden llevar a cabo procesos como la fermentación alcohólica, fermentación ácido-láctica anaeróticamente por lo que los hace muy importantes en la microbiología industrial, entre ellos podemos encontrar las levaduras, mohos, entre otros, además de que se clasifican en un reino distinto al vegetal debido a que no pueden llevar a cabo la fotosíntesis, estos son los principales descomponedores de materia orgánica compleja a simple. (Prescott *et al.*, 2004).

## Aspergillus niger

*Aspergillus niger* es un hongo conocido por su subclase como *Ascomycota*, su principal función es la descomposición de materia orgánica, consta de pared celular rígida constituida principalmente de celulosa y quitina (Ingraham *et al.*, 1998). Sus enzimas: Amilasas, lisozima, proteasas, celulasas, pectinasas y quimiolipinas permiten llevar a cabo fermentaciones tales como la del ácido cítrico (Viniestra, 2003). La estructura del género *Aspergillus sp.* consta de conidióforo, vesícula, fiálide y conidio.

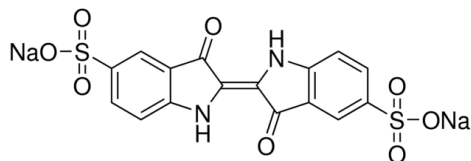


Estructura de *Aspergillus sp.* Obtenido de (UNAM, 1990).

Su ciclo biológico es sexual o asexual, este último implica la germinación de conidiosporas, permitiendo la formación de micelio nutritivo y aéreo. Por otra parte el mecanismo de biodegradación de celulosa a partir de *Aspergillus niger* se da mediante una hidrólisis enzimática liberando celulasas, como se había mencionado anteriormente; este hongo libera estas enzimas que permiten la ruptura de enlaces glucosídicos, llevando el monómero celobiosa hasta glucosa (Gutiérrez *et al.*, 2015).

## Índigo carmín, IC.

Es un colorante que se puede obtener de forma natural por medio de la planta *Indigofera tinctoria*, actualmente se obtiene mediante síntesis química, este colorante ha generado un problema ambiental por su frecuente uso en la industria textil, ya que incluso en bajas proporciones genera gran coloración al agua y es altamente tóxico (López y Crespi 2015; Doerner 1998). Su estructura molecular consta de puentes de hidrógeno intramoleculares que le dan estabilidad química. El doble enlace de los carbonos primarios de igual forma permite estabilidad, sin embargo, mediante una ozonólisis puede romperse fácilmente (Carey y Giuliano, 2014).



Estructura química del **índigo carmín** o *Indigofera tinctoria*  $C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$

## Biodegradación

La utilización de cepas para biodegradación, implica una modificación del microorganismo mediante cambios genéticos para sobrevivir en medios tóxicos (Ingraham *et al.*, 1998). Se han hecho estudios de degradación de pigmentos de la industria textil con hongos de podredumbre blanca para la remoción del negro reactivo 5, en la cual se utilizó 3 cepas determinando que la *Trametes versicolor* fue la de mayor rendimiento, esta fue inmovilizada con estropajo puesto que es material se obtiene fácilmente, es natural y aumenta la eficiencia de remoción hasta el 98% al combinar adsorción y uso de la enzima lacasa producida por este microorganismo (Fernández *et al.*, 2009). Aunque las enzimas se encuentren en todos los seres vivos, los procesos enzimáticos son caros por la dificultad de aislar o sintetizar una enzima, por lo tanto, la utilización de un hongo como *Aspergillus niger* inmovilizado usando celulosa proveniente del residuo de espinas de nopal, permitirá producir las enzimas necesarias para la degradación del colorante antes mencionado, es decir, por acción bioenzimática, implicando esto la presencia del microorganismo.

Una investigación hecha por Saratale (2006) fue la decoloración por fermentación, utilizando hongo *Aspergillus ochraceus* para decolorar azul de metileno, congo red, verde y metil violeta, este hongo es del genero *Aspergillus*, mismo género del que se utilizará en la presente investigación para evaluar su capacidad de biodegradación del colorante índigo carmín, además se pretende inmovilizar al microorganismo sobre celulosa obtenida de un material lignocelulósico, la fermentación tendrá lugar en un biorreactor de tanque agitado.

Como se analizó anteriormente, los estudios enfocados a la biodegradación de colorantes empleando métodos biotecnológicos, van encaminados a aquellos en los que se utilizan directamente las enzimas pectinolíticas y celulolíticas, una alternativa es usando al microorganismo capaz de producirlas dentro del biorreactor, favoreciendo de esta manera al bioproceso, ya que no sería tan fácil la desactivación de dichas enzimas; fundamentales para este proceso.

## METODOLOGÍA

Se empleó una cepa de *Aspergillus niger* adaptándolo previamente en agar contaminado con IC, para producir enzimas capaces de degradar dicho colorante, para inmovilizar las esporas del microorganismo en medio líquido se utilizó celulosa proveniente

de residuos de espinas de nopal, el soporte/sustrato tiene bajo contenido de lignocelulosa la cual contiene pectina y en su mayor proporción celulosa, lo que propicia al microorganismo a producir pectinasas y celulasas.

## Pretratamiento

Para el pretatamiento de la celulosa se lavó con agua destilada a 80 °C, se secó en horno a 60 °C durante 24 horas, a continuación se esterilizó a 121 °C, 15 psi, durante 15 minutos, se resembró el microorganismo en agar contaminado con IC y micronutrientes necesarios para el crecimiento de *Aspergillus niger*, se incubó las primeras 5 horas a 25 °C, el cual es el tiempo de germinación de esporas, después se incrementó la temperatura a 29 °C. Se extrajeron las esporas con una solución de agua salina estéril (NaCl 0.1 % m/v) (ver *operación de biorreactor*).

## Técnicas analíticas

Para la cuantificación de IC y evaluar el porcentaje de degradación se preparó una solución madre de 150 ppm de IC, se determinó el espectro ultravioleta visible (UV-vis) del IC. Se elaboró una curva de calibración del IC para evaluar su degradación durante la fermentación. Se preparó una solución Buffer (Dean y Lange, 1999) para iniciar con el pH favorable al crecimiento del microorganismo. Se elaboró una curva de calibración para cuantificación de proteínas (Bradford, 1976).

## Operación de biorreactor

Para esta etapa se usó un biorreactor de 1 L, se colocó 10 g de materia prima (celulosa), 1 L de medio de cultivo proporcionándole micronutrientes y macronutrientes: NaCl,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4$ . Los medios de cultivo se esterilizaron a 121 °C y 15 psi, durante 15 minutos.

Se inoculó el biorreactor con 10 mL de la solución salina que contenía esporas de *Aspergillus niger*. Se proporcionó agitación mecánica, se utilizó un baño con recirculación (25 °C), marca: PRENDO, modelo: FC-06.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se adaptó a *Aspergillus niger* a crecer en un ambiente contaminado con IC, para generar enzimas que propiciaron el descenso en la concentración de éste. Para determinar el porcentaje de degradación se hizo mediciones de absorbancia en UV-vis obteniendo durante 7 días la concentración de IC en la solución y mediante un cálculo comparativo del día 0 al día 7 se obtuvo una disminución del 89% en la concentración. (Figura 1, Línea azul).

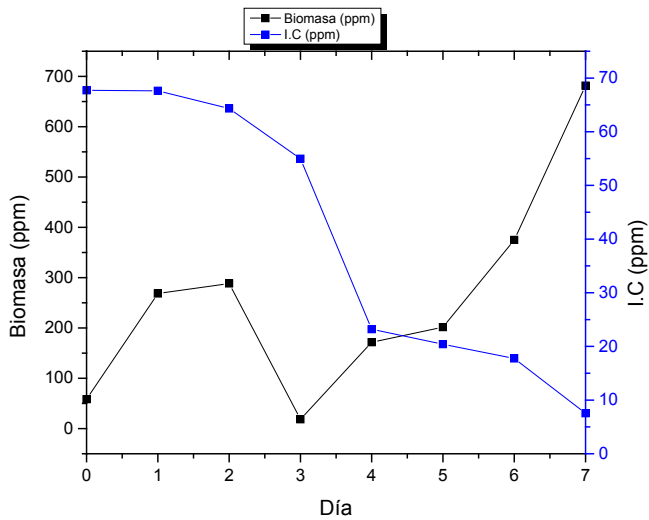


Figura 1 Comparación de crecimiento de biomasa y degradación de IC

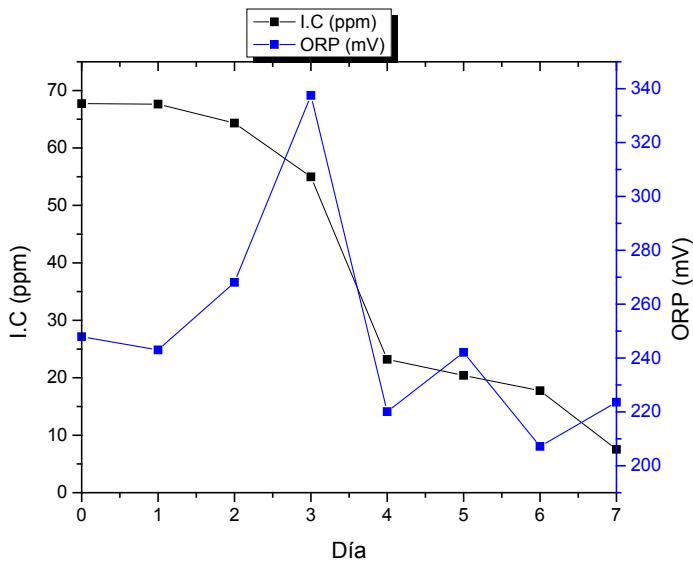


Figura 2 Comparación de potencial de óxido-reducción y degradación de IC

La cuantificación de biomasa muestra 2 fases exponenciales siendo la primera del día 0 a 1, y del día 3 al 7. Sin embargo, se observa que del día 2 al día 3 hay descenso en la biomasa debido a la generación de enzimas extracelulares y autoconsumo de biomoléculas generando una nueva etapa de adaptación (Bizukojc y Ledakowicz, 2006), ocurriendo



un descenso significativo de concentración al tercer día, por lo tanto, *Aspergillus niger* sobrevive al ambiente contaminado y degradarlo (Figura 1).

Un aspecto importante para determinar la degradación de IC son las mediciones de Potencial de óxido-reducción, ORP, la aplicación de *Aspergillus niger* para la biorremediación de efluentes contaminados con colorantes es una alternativa a los procesos fisicoquímicos, en este caso, el análisis de ORP permite ver su influencia en la biodegradación de IC (Figura 2), en este experimento se obtienen bajas concentraciones finales de IC, lo que muestra la existencia de sustancias o productos oxidados, aunque los valores de potencial redox disminuyeron de forma importante a partir del día 3 lo que indicó un mayor descenso en la concentración de IC y se generó un ambiente no tan tóxico para el microorganismo.

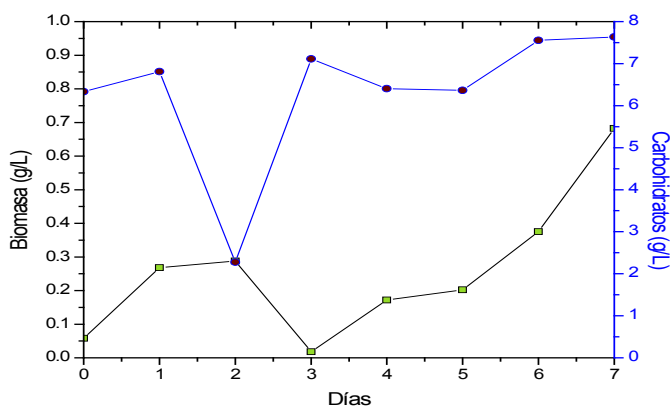


Figura 3 Influencia del sustrato en el crecimiento celular

La sacarosa generó un aumento en la biomasa en los primeros días, así mismo, la sacarificación de la celulosa permitió que *Aspergillus niger* pudiera tomar como fuente de carbono a ésta y mediante el ataque con enzimas extracelulares al IC (Figura 3).

El espectro UV-vis (Figura 4) muestra las absorbancias obtenidas, éstas indican la no formación de isatina ya que un estudio reportado por Ramya, Anusha y Kalavathy (2008) indica que la degradación de índigo carmín genera isatina, así mismo, mediante los grupos funcionales del espectro IR (Figura 5) se comprueba que se degrada IC pero sin obtención de isatina.

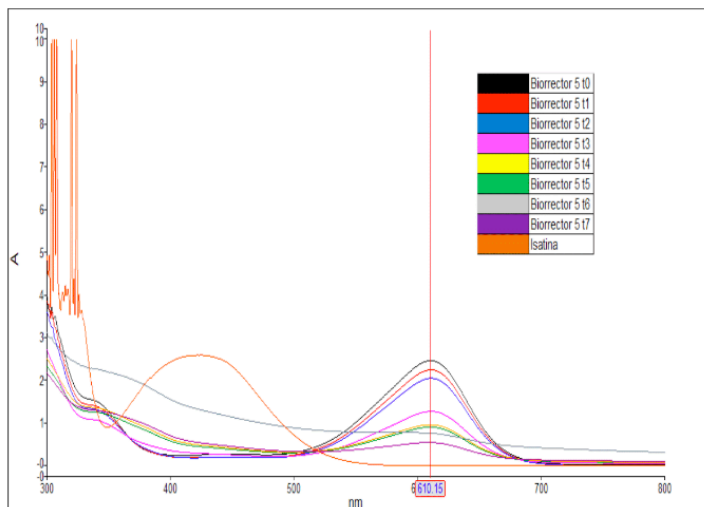


Figura 4 Espectro UV-vis de degradación de IC comparado con UV-vis de isatina

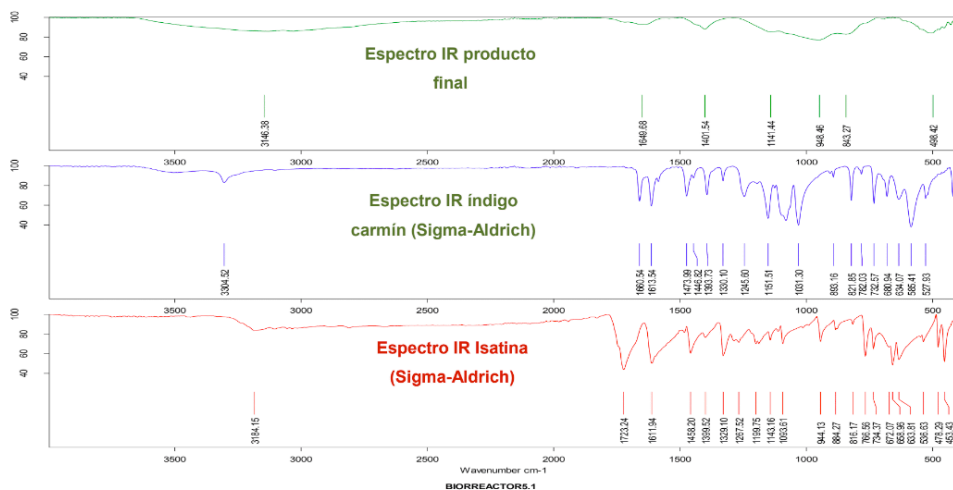


Figura 5 Espectros IR de producto final comparado con indigo carmin e isatina.

## CONCLUSIONES

La pre-adaptación de *Aspergillus niger* en agar contaminado con IC a una concentración de 50 ppm, permitió degradar dicho contaminante en una fermentación en medio líquido inmovilizado sobre celulosa obtenida de espinas de nopal, debido a la generación de enzimas.

*Aspergillus niger* fue capaz de degradar el IC. La remoción de color obtenida fue de 89%. La degradación del IC generó cambios fisicoquímicos, con un potencial de óxido-

reducción positivo que representó la oxidación de compuestos, y comprobó la actividad enzimática de celulasas y pectinasas.

El empleo de técnicas para cuantificación de proteínas mostró un crecimiento diaúxico, así mismo, al tiempo que el microorganismo crecía en la reproducción asexual (trofofase) ocurre un deterioro de las hifas durante la esporulación, encapsulando los nutrientes necesarios para la germinación de las conidioesporas y generación de enzimas que degradaron el IC.

El espectro UV-vis (Figura 4) muestra las absorbancias obtenidas, éstas indican la no formación de isatina ya que un estudio reportado por Ramya, Anusha y Kalavathy (2007) indica que la degradación de índigo carmín genera isatina, así mismo, mediante los grupos funcionales del espectro IR (Figura 5) se comprueba que se degrada IC pero sin obtención de isatina.

## REFERENCIAS

Aldrich, S. *Product Specification Índigo Carmine certified by the Biological Stain Commission.*

Arroyo M. (1998). **Inmovilización de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones.** *Ars Pharmaceutica*, 1–17.

Bizukojc, M. y Ledakowicz, S., 2006. **A kinetic model to predict biomass content for *Aspergillus niger* germinating spores in the submerged culture.** *Process Biochemistry*, 41(5), 1063–1071

Bradford, M. M. (1976). **A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein using the principle of protein dye binding.** *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254. [http://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](http://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)

Carey, F. A., y Giuliano, R. M. (2014). *Química orgánica* (9a Edición). McGrawHill.

Crueger, W., Crueger, A., y Padín, P. L. (1993). *Biotecnología: manual de microbiología industrial.* Acribia. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=fc9QPwAACAAJ>

Dean, J. A., y Lange, N. A. (1999). *Lange's Handbook of Chemistry.* McGraw-Hill.

Doerner, M. (1998). *Los materiales de pintura y su empleo en el arte* (1ra ed.). Reverté.

Eggert, C., Temp, U., Dean, J. F. D., y Eriksson, K. E. L. (1996). **A fungal metabolite mediates degradation of non-phenolic lignin structures and synthetic lignin by laccase.** *FEBS Letters*, 397(1-2), 144–148. [http://doi.org/10.1016/0014-5793\(96\)00719-3](http://doi.org/10.1016/0014-5793(96)00719-3)

Fernández, J. A., Henao, L. M., Pedroza-Rodríguez, A. M., y Quevedo-Hidalgo, B. (2009). **Inmovilización de hongos ligninolíticos para la remoción del colorante negro reactivo 5.** *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(1), 59–72.

Fontana, R. C., y Silveira, M. M. (2012). **Influence of pectin, glucose, and ph on the production of endo- and exopolysaccharonase by *Aspergillus oryzae* in liquid medium.** *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(4), 683–690. <http://doi.org/10.1590/S0104-66322012000400001>

Gómez-Bertel, S., Amaya-Bulla, D., Maldonado-Saavedra, C., Martínez-Salgado, M. M., Quevedo-Hidalgo, B., Soto-Guzmán, A. B., y Pedroza-Rodríguez, A. M. (2008). **Evaluación de tres hongos lignolíticos y de *Aspergillus niger* como alternativa para el tratamiento de aguas residuales del curtido de pieles.** *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(3), 93–106.

Gutiérrez-Rojas, I., Moreno-Sarmiento, N., y Montoya, D. (2015). **Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: Casos clásicos y nuevos modelos.** *Revista Iberoamericana de Micología*, 32(1), 1–12. <http://doi.org/10.1016/j.riam.2013.10.009>

Hopp, V. (1994). **Fundamentos de tecnología química para formación profesional** (1a edición). Reverté.

Ingraham, J. L., Ingraham, C. A., Prentiss, H., y Nieto, J. J. (1998). **Introducción a la microbiología** (1a edición). Reverté. Madrid

Kaushik, P., y Malik, A. (2009). **Fungal dye decolorization: Recent advances and future potential.** *Environment International*, 35(1), 127–141. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2008.05.010>

Kusvuran, E., Gulnaz, O., Irmak, S., Atanur, O. M., Yavuz, H. I., y Erbatur, O. (2004). **Comparison of several advanced oxidation processes for the decolorization of Reactive Red 120 azo dye in aqueous solution.** *Journal of Hazardous Materials*, 109(1-3), 85–93. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.03.009>

Legersk, B., Chmelov, D., y Ondrejovi, M. (2016). **Degradation of synthetic dyes by laccases - A mini-review.** *Nova Biotechnologica et Chimica*, 15(1), 90–106. <http://doi.org/10.1515/nbec-2016-0010>

López, V., y Martín Crespi Rosell. (2015). **Gestión de los efluentes de la industria textil.** Instituto de Investigación Textil y Cooperación Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Rai, H. S., Bhattacharyya, M. S., Singh, J., Bansal, T. K., Vats, P., y Banerjee, U. C. (2005). **Removal of Dyes from the Effluent of Textile and Dyestuff Manufacturing Industry: A Review of Emerging Techniques With Reference to Biological Treatment.** *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35(3), 219–238. <http://doi.org/10.1080/10643380590917932>

Ramya B., Anusha B., y Kalavathy S., Devilaksm S. (2007) Biodecolorization and biodegradation of Reactive Blue by *Aspergillus* sp. *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 No. 12 (2007)

Reyes-Valerio, C. (2006). Azul Maya / **Maya Blue Pigment**. Retrieved June 9, 2017, from <http://www.azulmaya.com/bonampak/cap1.php>

Saratale, G. D., Kalme, S. D., y Govindwar, S. P. (2006). **Decolorisation of textile dyes by *Aspergillus ochraceus* (NCIM-1146).** *Indian J. of Biotechnology*, 5(3), 407–410.

Viniegra, G. (2003). **Producción de Enzimas por *Aspergillus*.** *BioTecnología*, 8(2), 1–13.

Yacamán M. J., Rendón L., Arenas J., Serra-Puche M. (1996). **Maya Blue Paint: An Ancient Nanostructured Material.** *Science*, 223-225

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 35, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 70, 71, 139, 140

Aerosoles 159, 160, 161, 162, 163, 166, 167, 168

Alaranjado de metila 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Área de proteção ambiental 145, 148, 158

Área superficial elevada 74

Aspergillus niger 13, 14, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24

Aterros 125, 131, 132

### C

Celulosa 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 24

Colorantes 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 21

Compostagem 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118, 119, 120, 121, 123, 124

Contaminação ambiental 26, 130

Contaminação hídrica 56

### D

Decantador de coluna 82

### F

Fármacos 35, 36, 37, 38, 39, 46, 47

Floco decantador de manta de lodo 82

Fósforo 55, 56, 57, 58, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 71

### I

Índigo carmín 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 23

### L

Lodo de lagoa de estabilização 82, 93

### M

Mathematical air dispersion modeling 186

Meio ambiente 36, 37, 46, 56, 72, 94, 101, 120, 124, 125, 128, 129, 145, 146, 148, 170, 171, 172, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183

Meio suporte alternativo 74, 75, 76

Metais tóxicos 125, 126, 128

Micropoluentes 35, 39

## **O**

Odour monitoring 186

Odour sensors 186

Óxidos de ferro 55, 57, 58, 59, 62, 63

## **P**

Plástico reciclável 74

Processo contínuo 25, 26, 27, 28, 31, 32, 33

Processo de lixiviação 130, 131

Processo em batelada 25, 26, 27, 28, 31, 33

## **Q**

Queima de biomassa 159, 160, 161, 162, 166, 167, 168

## **R**

Radiocarbono 160, 161, 162, 167

Reação de Fenton 26

Resíduo sólido 108

Resíduos sólidos domiciliares 95, 96, 97

Resíduo zero 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 121, 123, 124

Resinas 99, 100, 101, 104

## **S**

Saneamento rural 56

Saúde humana 37, 125, 126, 128, 170, 171, 172, 178

Secagem em estufa agrícola 82, 88, 89, 90, 93

Solubilização 130

## **T**

Termoplásticos 99, 100, 105

Tratamiento de agua 1, 13, 14

## **U**

Unidade de conservação 145, 146, 158

Uso do solo 145, 146, 147, 148, 150, 151, 152, 153, 158, 172, 178, 180, 186

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

## 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária

## 2

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 