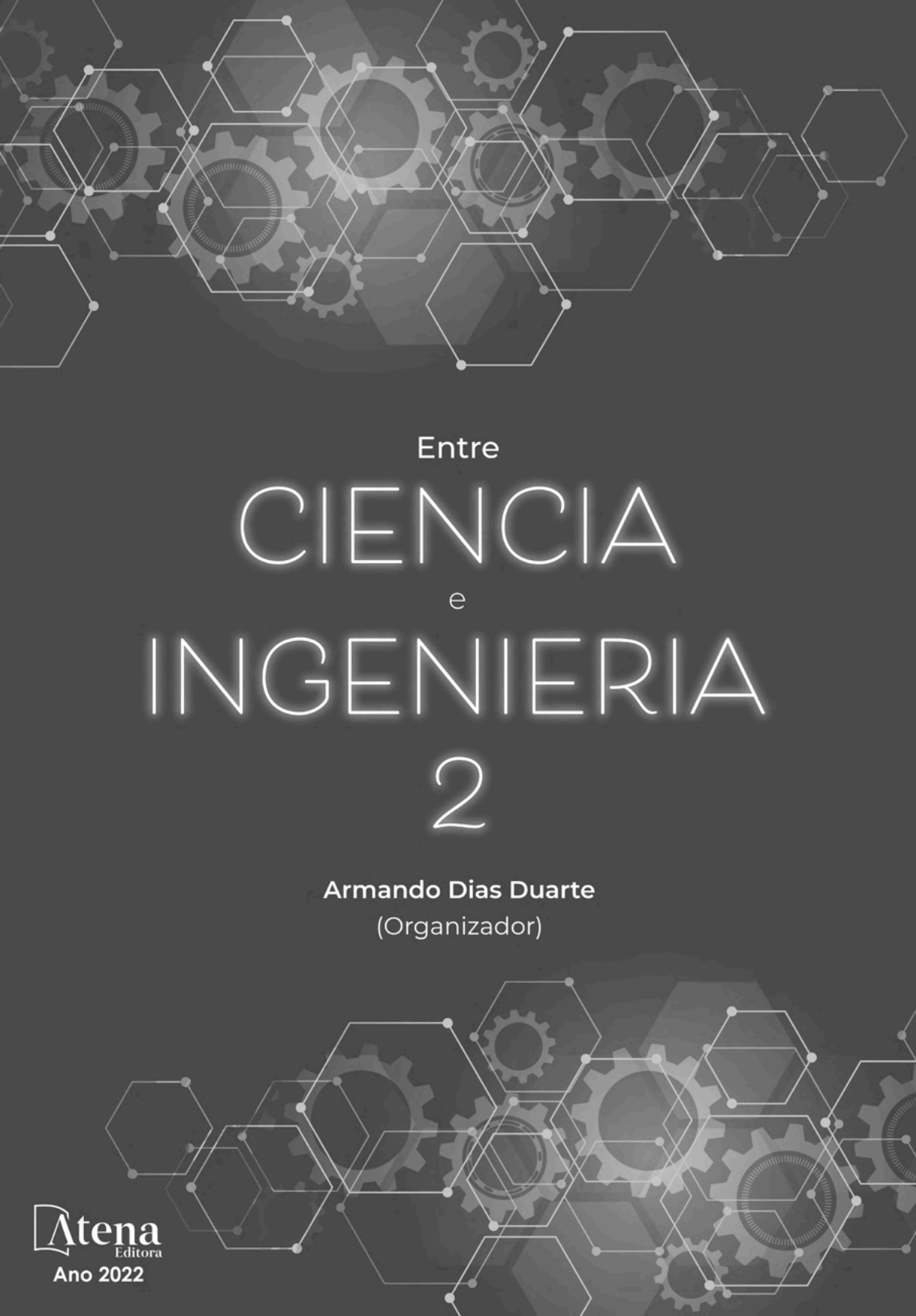
The background of the cover is a vibrant blue gradient. It is decorated with a complex pattern of glowing green and cyan lines forming hexagons and interconnected gears. The gears vary in size and are scattered across the top and bottom of the page, creating a sense of mechanical precision and technological advancement.

Entre
CIENCIA
e
INGENIERIA
2

Armando Dias Duarte
(Organizador)



Entre
CIENCIA
e
INGENIERIA
2

Armando Dias Duarte
(Organizador)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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 Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

Profª Drª 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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
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
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Armando Dias Duarte

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E61 Entre ciencia e ingenieria 2 / Organizador Armando Dias Duarte. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0259-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.596222405>

1. Ciencia. 2. Ingenieria. I. Duarte, Armando Dias (Organizador). II. Título.

CDD 501

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

O conjunto de trabalhos intitulado “*Ciencia e Ingenieria 2*” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de diversos trabalhos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar, pesquisas cujos resultados possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no profissional.

Os trabalhos desenvolvidos foram realizados em instituições de ensino e pesquisa no México, e nos capítulos apresentados, são encontrados estudos de grande valia com temas que relacionam os recursos hídricos, ferramentas que auxiliam nos aspectos da gestão, discussões a respeito do processo de ensino e aprendizagem, segurança e empreendedorismo.

A composição dos temas buscou a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos (as), mestres (as) e todos (as) aqueles (as) que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, através de temáticas atuais com resoluções inovadoras, descritas nos capítulos da coleção. Sendo assim, a divulgação científica é apresentada com grande importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, como a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulgarem seus resultados.


Armando Dias Duarte

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CULTURAS DEL AGUA. REFLEXIONES DESDE LA INTERCULTURALIDAD, CUENCA Y SOCIO-ECOSISTEMA

Alejandro Sainz Zamora

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224051>


CAPÍTULO 2..... 13

PLANIFICACIÓN BASADA EN EL SERVICIO ECOSISTEMICO HÍDRICO ANTE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN HIDROGRÁFICA DEL ESTERO JALTEPEQUE, EL SALVADOR

Laura Benegas Negri

Marta Vilades Ribera

Ney Rios Ramirez


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224052>

CAPÍTULO 3..... 24

RESPUESTA HIDRÁULICA Y MECÁNICA EN UNA TURBOMÁQUINA Y SU RELACIÓN CON FENÓMENOS SUBSINCRÓNICOS

Hernán Darío Bolaños-Arias

Francisco Javier Botero-Herrera

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224053>


CAPÍTULO 4..... 37

CÓDIGOS DE ÉTICA Y CONDUCTA, HERRAMIENTAS FUNDAMENTALES PARA LA ADMINISTRACIÓN PÚBLICA MUNICIPAL

Teresa Reyes Zepeda

Mónica Leticia Acosta-Miranda

Esmeralda Gutiérrez López

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224054>


CAPÍTULO 5..... 49

LAS TICS Y SU RELACIÓN CON LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA - APRENDIZAJE

Carlos Ernesto Gavilondo Rodríguez.

Angiemarie Rivera.

Exi Resto de León

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224055>


CAPÍTULO 6..... 58

DESARROLLANDO COMPETENCIAS DIGITALES DOCENTES EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE: FORMACIÓN DEL PROFESOR 2.0

María Alejandra Sarmiento Bojórquez

Mayte Cadena González


Juan Fernando Casanova Rosado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224056>

CAPÍTULO 7..... 74

ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO ESCOLAR MODALIDAD VIRTUAL Y PRESENCIAL EN LA UNIDAD DE APRENDIZAJE DE FÍSICA BÁSICA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE


Mayté Cadena González
María Alejandra Sarmiento Bojórquez
Juan Fernando Casanova Rosado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224057>

CAPÍTULO 8..... 88

LA MODELACIÓN MATEMÁTICA COMO UN RESULTADO DE APRENDIZAJE TRANSVERSAL EN EL PROCESO FORMATIVO DEL INGENIERO


Vicente Sandoval Rojas
Emilo Cariaga López
Valeria Carrasco Zúñiga
Soledad Yáñez Arriagada
Ciro González Mallo
Héctor Iturra Chico

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224058>

CAPÍTULO 9..... 99

RESULTADOS DE APRENDIZAJE EN CURSOS DE CIENCIAS BASICAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UCTEMUCO CONTRIBUYENDO A LA OPTIMIZACION DEL PROCESO FORMATIVO


Carmen Soledad Yáñez
Valeria Carrasco
Vicente Sandoval
Ciro González
Héctor Turra

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5962224059>

CAPÍTULO 10..... 110

EFFECTO DE LA TÉCNICA DE DESHIDRATACIÓN SOBRE EL CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS DE *Tropaeolum tuberosum*


Tamara Fukalova
Villacrés Poveda Elena
Alemán Reyes Julissa
Almeida Shapán Rita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240510>

CAPÍTULO 11..... 126

BIOTRATAMIENTO DE SUELO CONTAMINADO POR ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ: UN RESIDUO PELIGROSO


Blanca Celeste Saucedo Martínez
Liliana Márquez Benavides
Gustavo Santoyo
Juan Manuel Sánchez-Yáñez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240511>

CAPÍTULO 12..... 135

IDENTIFICACIÓN DEL RAQUIS DE MAÍZ COMO MATERIAL ADSORBENTE DE HIDROCARBUROS


Cesar Luis Redonda Deceano
David Reyes González

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240512>

CAPÍTULO 13..... 143

CARACTERIZACIÓN Y DESEMPEÑO EN RETARDANCIA A LA FLAMA DE MEZCLAS PE/EVA CON COMBINACIONES DE Mg(OH)₂, KERATINA Y AGENTE INTUMESCENTE (ADN)


Saúl Sánchez valdes
J. Alvite-Ortega
E. Ramirez-Vargas
L.F. Ramos deValle
J.G. Martínez-Colunga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240513>

CAPÍTULO 14..... 159

EMPRENDIENDO

Javier Darío Canabal Guzmán

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.59622240514>

SOBRE O ORGANIZADOR..... 177

ÍNDICE REMISSIVO..... 178

BIOTRATAMIENTO DE SUELO CONTAMINADO POR ACEITE RESIDUAL AUTOMOTRIZ: UN RESIDUO PELIGROSO

Data de aceite: 01/05/2022

Data de submissão: 08/04/2022

Blanca Celeste Saucedo Martínez

Laboratorio de Microbiología Ambiental,
Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas,
Universidad Michoacana de San Nicolás de
Hidalgo
Morelia, Michoacán, México
<https://orcid.org/0000-0003-3206-188X>

Liliana Márquez Benavides

Instituto de Investigaciones Agropecuarias y
Forestales, Universidad Michoacana de San
Nicolás de Hidalgo
Morelia, Michoacán, México
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3738-6608>

Gustavo Santoyo

Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas,
Universidad Michoacana de San Nicolás de
Hidalgo
Morelia, Michoacán, México
<https://orcid.org/0000-0002-0374-9661>

Juan Manuel Sánchez-Yañez

Laboratorio de Microbiología Ambiental,
Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas,
Universidad Michoacana de San Nicolás de
Hidalgo
Morelia, Michoacán, México
<https://orcid.org/0000-0002-2276-8446>

RESUMEN: El aceite residual automotriz (ARA) es un fluido compuesto por hidrocarburos que de acuerdo la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente de México y la Agencia

de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 1996), es un residuo peligroso que comúnmente contamina el suelo y representa un problema mundial ambiental en la actualidad. La norma mexicana NOM-138-SEMARNAT/ssa1-2012 (NOM-138), establece como límite máximo permisible de hidrocarburos en suelo de 4,400 ppm. Un tratamiento efectivo para este residuo peligroso es la biorremediación mediante bioestimulación y fitorremediación. Los objetivos de este trabajo fueron: a) bioestimulación (BIS) de suelo contaminado por 60,000 ppm de ARA, y b) fitorremediación (FITO) del suelo con *Sorghum vulgare*, potenciado con *Penicillium chrysogenum* y *Aspergillus niger* para disminuir el ARA a una concentración inferior a la máxima permitida por la NOM-138. Para ello, un suelo agrícola se impactó artificialmente con 60,000 ppm de ARA para bioestimularlo con solución detergente, solución mineral, extracto fúngico crudo y H₂O₂ (peróxido de hidrogeno). Luego para eliminar el ARA remanente de la bioestimulación se fitorremedió el mismo suelo con *S. vulgare* potenciado con *P. chrysogenum* y *A. niger*. Las variables de respuesta fueron la biomasa de *S. vulgare* y concentración inicial y final del ARA por Soxhlet. Los resultados mostraron que el biotratamiento del suelo contaminado por ARA mediante BIS, disminuyó el ARA de 60,000 hasta 13,057 ppm. Luego, en la FITO *S. vulgare* con ambos hongos registró los mayores valores de biomasa de 7.6 g de peso fresco aéreo, 8.8 g de peso fresco de raíz y 1.5 g de peso seco aéreo y de raíz. Después de la FITO del suelo impactado por ARA, *S. vulgare* con *A. niger* y *P. chrysogenum*, disminuyó el ARA del suelo de 13,057 ppm a

2,649 ppm, valor inferior al máximo permisible de la NOM-138. Este biotratamiento del suelo impactado por ARA por medio de la BIS y FITO es una técnica eficiente y amigable con el ambiente, que devuelve la fertilidad del suelo a diferencia de los tratamientos convencionales de residuos peligrosos que son costosos y contaminantes.

PALABRAS CLAVE: Suelo, aceite residual automotriz, residuo peligroso, microorganismos, plantas, mineralización.

ABSTRACT: Waste motor oil (WMO) is a fluid composed of hydrocarbons that, according to according to the Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente of Mexico and the US Environmental Protection Agency (EPA, 1996), is a hazardous waste that commonly contaminates the soil and represents a worldwide environmental problem today. Mexican standard NOM-138-SEMARNAT/ssa1-2012 (NOM 138) establishes a maximum allowable limit of hydrocarbons in soil of 4,400 ppm. An effective treatment for this hazardous waste is bioremediation through biostimulation and phytoremediation. The objectives of this work were: a) biostimulation (BIS) of soil contaminated by 60,000 ppm of WMO, and b) phytoremediation (PHYTO) of the soil with *Sorghum vulgare*, enhanced with *Penicillium chrysogenum* and *Aspergillus niger* to reduce WMO to a concentration below the maximum allowed by NOM-138. For this purpose, an agricultural soil was artificially impacted with 60,000 ppm of WMO to biostimulate it with detergent solution, mineral solution, crude fungal extract and H₂O₂ (hydrogen peroxide). Then, to eliminate the remaining WMO from the biostimulation, the same soil was phytoremediated with *S. vulgare* enhanced with *P. chrysogenum* and *A. niger*. The response variables were biomass of *S. vulgare* and initial and final WMO concentration by Soxhlet. The results showed that biotreatment of WMO contaminated soil by BIS decreased WMO from 60,000 to 13,057 ppm. Then, in PHYTO *S. vulgare* with both fungi recorded the highest biomass values of 7.6 g aerial fresh weight, 8.8 g root fresh weight and 1.5 g aerial and root dry weight. After PHYTO of the WMO-impacted soil, *S. vulgare* with *A. niger* and *P. chrysogenum*, decreased soil WMO from 13,057 ppm to 2,649 ppm, a value below the maximum permissible value of NOM-138. This biotreatment of soil impacted by WMO by means of BIS and PHYTO is an efficient and environmentally friendly technique that restores soil fertility unlike conventional hazardous waste treatments that are costly and polluting.

KEYWORDS: soil, waste motor oil, hazardous waste, microorganisms, plants, mineralization.

INTRODUCCIÓN

El aceite residual automotriz (ARA), es un fluido compuesto por hidrocarburos (HICO) que, de acuerdo con Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente de México y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 1996), es un residuo peligroso que comúnmente contamina el suelo. Lo anterior representa uno de los problemas ambientales más importantes a nivel mundial. La norma mexicana NOM-138-SEMARNAT/ssa1-2012 (NOM-138) establece como límite máximo permisible de HICO en suelo de 4,400 ppm. En el suelo el ARA forma una película en la superficie del suelo que se expande horizontalmente e imposibilita los ciclos biogeoquímicos, ya que, sin aireación en el suelo, el pH se acidifica, en consecuencia, algunos minerales esenciales para las plantas

no están químicamente disponibles y se reduce la producción agrícola (Haleyur *et al.*, 2019). Mientras que otra parte del ARA se infiltra verticalmente por la columna del suelo, donde penetra en los microporos y llega a contaminar aguas subterráneas (Akpabio *et al.*, 2017). Normalmente se utilizan técnicas químicas de tratamiento de residuos peligrosos como el suelo impactado por ARA mediante inyección de oxidantes como el O_3 (ozono), $Na_2S_2O_8$ (persulfato de sodio) y el $KMnO_4$ (permanganato de potasio) que además de costos, causan daños colaterales ambientales y no recuperan la fertilidad del suelo (Perini *et al.*, 2020).

Por otro lado, una estrategia de tratamiento eficiente y amigable con el ambiente, de este residuo peligroso, que asegura la disminución del ARA del suelo a una concentración inferior a la máxima aceptada por la NOM-138, es la biorremediación mediante bioestimulación (BIS) seguida de la fitorremediación (FITO). La BIS consiste en la adición inicial de una solución detergente al 0.5% para emulsificar la mezcla insoluble de HICO, una solución mineral para inducir la oxidación del ARA, un extracto fúngico crudo para hidrolizar los HICO aromáticos del ARA y H_2O_2 (peróxido de hidrogeno) al 0.5% como fuente de O_2 (oxígeno) para acelerar la mineralización del ARA. Luego para eliminar el ARA remanente del suelo, la fitorremediación (FITO) mediante *Sorghum vulgare* que degrada los HICO en las raíces y que se mejora su capacidad al inocularse con hongos filamentosos oxidantes de HICO como *Penicillium chrysogenum* y *Aspergillus niger*. Los objetivos de este trabajo fueron: a) bioestimulación (BIS) de suelo contaminado por 60, 000 ppm de ARA mediante detergente y solución mineral, y b) fitorremediación (FITO) con *Sorghum vulgare*, potenciado con *Penicillium chrysogenum* y *Aspergillus niger* para decrecer el ARA a un valor inferior al máximo establecido por la NOM-138.

MATERIALES Y MÉTODOS

Bioestimulación del suelo contaminado con aceite residual automotriz

El suelo fue colectado de una zona agrícola del municipio de Morelia, Mich. El ARA se obtuvo de un taller mecánico automotriz de la ciudad de Morelia, Mich; con el que se contaminó 1 Kg de suelo para obtener una concentración inicial de 60,000 ppm. Después, ese residuo peligroso se colocó en Jarras de Leonard. La bioestimulación se realizó primero con solución detergente comercial al 0.5% Roma®, para emulsificar el ARA del suelo [4]. Posteriormente una bioestimulación cada 3 días con 18 ml de la solución mineral (Abed *et al.*, 2014). Luego se bioestimuló el suelo contaminado dos veces por semana con 8 ml de una solución al 0.5% de H_2O_2 / kg de suelo, para acelerar la oxidación del ARA (Abed *et al.*, 2014). Posteriormente la bioestimulación con 54 ml de extracto fúngico crudo/kg de suelo, sintetizado por *Penicillium chrysogenum*, para hidrolizar los HICO aromáticos (Kadri *et al.*, 2017). Para ello el hongo fue inducido por la presencia de lignina con estructura química similar a los HICO aromáticos (Ogeleka *et al.*, 2020). *P. chrysogenum*, se cultivó

previamente en un medio de cultivo con lignina residual obtenida de paja de trigo, 10,0 g / L; peptona de soja, 5,0 g / L; CuSO_4 , 0,01 g / L; MgSO_4 , 1,5 g / L; KH_2PO_4 , 1,5 g / L; K_2HPO_4 , 1,5 g / L; NaCl, 0,9 g / L; extracto de levadura, 1,0 g / L; detergente Roma®, 1%, 2,5 mL; solución de oligoelementos 0,001 mL; azul de bromotimol al 0,1%, 10,0 mL. El pH del medio de cultivo se ajustó a 5,5. Este se incubó durante 20 días a 28 ° C con agitación de 150 rpm a un pH de $5,5 \pm 0,2$, al final se filtró el extracto crudo de hongos (Baltierra *et al.*, 2016) y se ajustó el pH a $6,5 \pm 0,2$ antes de añadirlo para la bioestimulación del suelo contaminado por el ARA. La humedad del suelo se ajustó al 80% de la capacidad de campo. Para el control absoluto, el suelo sin ARA se regó con agua potable. La bioestimulación del suelo contaminado se realizó durante 60 días por sextuplicado ($n = 6$).

Fitorremediación de un suelo contaminado por aceite de motor usado con *Sorghum vulgare* potenciado con *Aspergillus niger* y *Penicillium chrysogenum*

Después de la bioestimulación del suelo contaminado por ARA, se realizó una fitorremediación con *S. vulgare* potenciado con *A. niger*, *P. chrysogenum* o ambos, durante 60 días para concluir la biorremediación. *A. niger* y *P. chrysogenum* se cultivaron en agar y medio líquido, dextrosa y papa (ADP) incubados a 30 ° C / 24 h; luego se inocularon 48 semillas de *S. vulgare* con 5,0 mL de *P. chrysogenum* o *A. niger*, o en una mezcla de ambos en relación 1:1. Esta concentración de hongos se ajustó a un tubo N ° 1 del nefelómetro de Mc Farland equivalente a 3×10^8 unidades formadoras de propágulos / mL (UFC / mL) (Hussein y Joo, 2018). Posteriormente, se sembraron cuatro semillas de *S. vulgare* en las jarras de suelo contaminado por ARA y se bioestimularon con una solución mineral durante la fitorremediación. Las variables respuesta fueron la biomasa seca aérea y radical de *S. vulgare* a prefloración.

Determinación de la concentración de aceite de motor residual de bioestimulación y fitorremediación de suelos

La determinación del ARA en suelo después de 60 días de bioestimulación y 90 días de fitorremediación con *S. vulgare*, fue evaluada por Soxhlet (Miyawaki *et al.*, 2018).

Análisis estadístico

Los datos experimentales fueron analizados estadísticamente con el software Statgraphics Centurion XVII y con Tukey HSD al 0,05% (Walpole, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso fresco y seco de *S. vulgare* en la fitorremediación del suelo

La Tabla 1 presenta el peso fresco y seco de *S. vulgare* a prefloración en la fitorremediación del suelo impactado por ARA. Se reportó el peso fresco aéreo (PFA) más alto de 7.6 g y el peso fresco de la raíz (PFR) de 8.8 g. Mientras que *S. vulgare* que se potenció con *P. chrysogenum*, dichos valores fueron 5.2 g de PFA y 4.1 g de PFR. En contraste, *S. vulgare* en el suelo sin ARA mostró 4.8 g de PFA y 5.2 g de PFR. Mientras que *S. vulgare* con *A. niger* y *P. chrysogenum* reportaron el peso seco aéreo (PSA) y el peso seco de raíz (PSR) más altos de 1.5 g de PSA y PSR. En el caso de *S. vulgare* con *P. chrysogenum* esos valores fueron 1.2 g de PSA y 0.8 de PSR. Mientras que los de *S. vulgare* sin ARA, fueron 0.5 de PSA y 0.2 g de PSR. Estos resultados muestran que los hongos *P. chrysogenum* y *A. niger* potenciaron la capacidad de *S. vulgare* para eliminar una gran parte de los HICO aromáticos del ARA remanente de la BIS, que sugiere que aumentaron el suministro de nutrientes minerales al sorgo para promover su crecimiento en el suelo contaminado a través de la producción de fitohormonas (Prakash y Sheela, 2016). Al respecto se ha reportado que, a su vez, las raíces de plantas como *S. vulgare* estimulan la actividad de *A. niger* y *P. chrysogenum* para mineralizar los HICO (Otero-Blanca *et al.*, 2018).

<i>Sorghum vulgare</i> en suelo	Peso fresco aéreo (g)	Peso fresco de raíz (cm)	Peso seco aéreo (g)	Peso seco de raíz (g)
Control absoluto sin contaminar (irrigado con agua)	4.8 ^c	5.2 ^f	1.1 ^b	0.9 ^b
Control relativo sin contaminar (alimentado con solución mineral al 100%)	4.8 ^c	5.2	1 ^c	0.9 ^b
Suelo con ARA bioestimulado + fitorremediado con <i>Sorghum vulgare</i>	1.8 ^e	0.9 ^e	0.5 ^d	0.2 ^e
Suelo con ARA bioestimulado + fitorremediado con <i>Sorghum vulgare</i> + <i>Aspergillus niger</i>	5.2 ^{a*}	4.1 ^a	1.2 ^b	0.8 ^c
Suelo con ARA bioestimulado + fitorremediado con <i>Sorghum vulgare</i> + <i>Penicillium chrysogenum</i>	2.3 ^d	1.8 ^d	0.6 ^d	0.5 ^d
Suelo con ARA bioestimulado + fitorremediado con <i>Sorghum vulgare</i> + <i>Aspergillus niger</i> + <i>Penicillium chrysogenum</i>	7.6 ^{a*}	8.8 ^{a*}	1.5 ^a	1.5 ^a

Tabla 1. Biomasa seca de *Sorghum vulgare* después de 60 días de bioestimulación y 60 días de fitorremediación del suelo impactado por aceite residual automotriz.

*Tukey (0.025) Letras distintas = indican diferencia estadística +

Determinación de la concentración de aceite de motor residual después de la bioestimulación y fitorremediación del suelo

La Tabla 2 muestra la concentración del ARA después de 60 días de bioestimulación y 60 días de fitorremediación del suelo. La concentración final de ARA en suelo solo bioestimulado sin fitorremediar fue de 13,057 ppm; lo que indica que fue insuficiente para que el suelo fuera considerado biorremediado de acuerdo al límite máximo permisible establecido por la NOM-138. El suelo bioestimulado y fitorremediado con *S. vulgare* sin inocular mostró una disminución de 13,057 ppm a 4,143 ppm. Mientras que el suelo bioestimulado y fitorremediado con *S. vulgare* potenciado por *A. niger* y *P. chrysogenum* redujo el ARA a 3,890 ppm. Mientras tanto, suelo bioestimulado y fitorremediado con *S. vulgare* potenciado por *P. chrysogenum* a 3317, y el suelo bioestimulado y fitorremediado con el sorgo potenciado con *A. niger* mostró la mayor disminución del ARA hasta 2,649 ppm, todas las concentraciones anteriores, fueron inferiores al máximo permisible por la NOM-138, lo que considera al suelo recuperado. Lo anterior se debe a que con la bioestimulación del suelo impactado por ARA mediante detergente emulsificó el ARA (Mao *et al.*, 2015; Shah *et al.*, 2016), mientras que la solución mineral restableció la relación C: N (Alexander, 1977), seguido del H₂O₂, (peróxido de hidrógeno) que aceleró la oxidación del ARA (Mariano *et al.*, 2007); complementariamente con el extracto fúngico que se sugiere hidrolizó los HICO aromáticos y que el control de la humedad al 80% aumentó la disposición de O₂, lo que en conjunto permitió que los microorganismos mineralizaran una parte del ARA. Posteriormente la fitorremediación del suelo con *S. vulgare* inoculado con *A. niger*, promovió el crecimiento del sorgo y aumentó la mineralización del ARA (Izinyon y Seghosime, 2013). Se ha registrado que los hongos utilizan los HICO como fuente de carbono y energía y los asimilan en la biomasa fúngica. Además, las membranas celulares de los hongos son permeables a muchos contaminantes orgánicos como los HICO y estos pueden ser degradados por enzimas intracelulares como citocromo P450 (Ostrem Loss y Yu 2018) y nitrorreductasas (Tripathi *et al.* 2017), hasta llegar a compuestos orgánicos más simples, seguidos de un metabolismo posterior como la b-oxidación y la entrada en el ciclo del ácido tricarbóxico (Varjani, 2017). Por lo anterior, el suelo impactado por el ARA fue recuperado de acuerdo con la NOM-138 en un tiempo relativamente corto, y sin causar daños colaterales, comparado con otras técnicas de tratamiento de residuos peligrosos. Mientras que el suelo control negativo mostró un ligero decremento a 45003 ppm de ARA, donde según lo informado por Agnello *et al.*, 2016, la falta de nutrientes por bioestimulación y fitorremediación impidió que los microorganismos mineralizaran la mayor parte del ARA.

Suelo contaminado por ARA	Aceite residual automotriz remanente (ppm)	Porcentaje de mineralización (%)
Control negativo (sin bioestimular)	45003 ^f	24,9 ^f
Bioestimulación	13057 ^e	78,2 ^e
Bioestimulación + fitorremediación con <i>Sorghum vulgare</i>	4143 ^{d⁺}	93 ^{d⁺}
Bioestimulación + fitorremediación con <i>Sorghum vulgare</i> + <i>Aspergillus niger</i>	2649 ^{a⁺}	95,5 ^{a⁺}
Bioestimulación + fitorremediación con <i>Sorghum vulgare</i> + <i>Penicillium chrysogenum</i>	3317 ^{b⁺}	94,4 ^{b⁺}
Bioestimulación + fitorremediación con <i>Sorghum vulgare</i> + <i>Aspergillus niger</i> + <i>Penicillium chrysogenum</i>	3890 ^{c⁺}	93,5 ^{c⁺}

Tabla 2. Aceite residual automotriz después de 60 días de bioestimulación y 90 días de fitorremediación

*Tukey (0.025) Letras distintas = indican diferencia estadística + = valores por debajo de lo permitido por la NOM-138.

CONCLUSIONES

El biotratamiento de suelo impactado por ARA como residuo peligroso a través de la BIS y FITO, es una técnica eficiente y ambientalmente segura que devuelve la fertilidad del suelo, a diferencia de los tratamientos de residuos peligrosos comunes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad de Harvard, Cambridge, Ma, EUA, Fundación Rockefeller 2022. Proyecto 2.7 (2022) y BIONUTRA, SA CV Maravatio, Mich, Mexico y a Conacyt por el apoyo.

REFERENCIAS

1. Abed, R. M., Al-Sabahi, J., Al-Maqrashi, F., Al-Habsi, A., & Al-Hinai, M. (2014). Characterization of hydrocarbon-degrading bacteria isolated from oil-contaminated sediments in the Sultanate of Oman and evaluation of bioaugmentation and biostimulation approaches in microcosm experiments. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 89, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.006>.
2. Agnello, A. C., Bagard, M., van Hullebusch, E. D., Esposito, G., & Huguenot, D. (2016). Comparative bioremediation of heavy metals and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. *Science of the Total Environment*, 563, 693-703. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.061>

3. Akpabio, G. T., Udoinyang, I. E., & Basil, T. S. (2017). Effect of used motor oil contamination on geotechnical properties of clay soil on Uyo-Akwa Ibom. *J. Nat. Sci. Res*, 5(2), 22-30. <https://doi.org/10.18488/journal.63.2017.52.22.30>
4. Alexander M. (1977). *Introducción a la microbiología del suelo*. Transformaciones microbianas del fósforo. 355-361. AGT Editor, S. A. México D.F.
5. Baltierra-Trejo, E., Silva-Espino, E., Márquez-Benavides, L., & Sánchez-Yáñez, J. M. (2016). Inducción de la degradación de lignina de paja de trigo en aromáticos por *Aspergillus* spp. y *Penicillium chrysogenum*. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(1), 10-19. <https://doi.org/10.4067/S2072-92942016000100003>
6. Haleyr, N., Shahsavari, E., Jain, S. S., Koshlaf, E., Ravindran, V. B., Morrison, P. D., ... & Ball, A. S. (2019). Influence of bioaugmentation and biostimulation on PAH degradation in aged contaminated soils: Response and dynamics of the bacterial community. *Journal of environmental management*, 238, 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.115>
7. Hussein, K. A., & Joo, J. H. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria improved salinity tolerance of *Lactuca sativa* and *Raphanus sativus*. *Journal of microbiology and biotechnology*, 28(6), 938-945. <https://doi.org/10.4014/jmb.1712.12027>
8. Izinyon, O. C., & Seghosime, A. (2013). Assessment of show star grass (*Melampodium paludosum*) for phytoremediation of motor oil contaminated soil. *Assessment*, 3(3).
9. Kadri, T., Rouissi, T., Brar, S. K., Cledon, M., Sarma, S., & Verma, M. (2017). Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by fungal enzymes: A review. *Journal of environmental sciences*, 51, 52-74. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.08.023>
10. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. México: Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión; Última reforma DOF 18/01/2021; 2021.
11. Mao, X., Jiang, R., Xiao, W., & Yu, J. (2015). Use of surfactants for the remediation of contaminated soils: a review. *Journal of hazardous materials*, 285, 419-435. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.12.009>
12. Mariano, A. P., Kataoka, A. P. D. A. G., Angelis, D. D. F. D., & Bonotto, D. M. (2007). Laboratory study on the bioremediation of diesel oil contaminated soil from a petrol station. *Brazilian Journal of Microbiology*, 38(2), 346-353. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822007000200030>
13. Miyawaki, T., Tobiishi, K., Takenaka, S., & Kadokami, K. (2018). A rapid method, combining microwave-assisted extraction and gas chromatography-mass spectrometry with a database, for determining organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in soils and sediments. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 27(1), 31-45. <https://doi.org/10.1080/15320383.2017.1360245>
14. NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificación para la remediación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 10 de septiembre de 2010.
15. Ogeleka, D., Bokolo, P., & Omoregie, G. (2020). Assessment of the Phytotoxic Effects and Ecological Risks to *Phaseolus vulgaris* Planted on Crude Oil Spiked Soils. *Tanzania Journal of Science*, 46(1), 116-128.
16. Ostrem Loss EM, Yu JH. 2018. Bioremediation and microbial metabolism of benzo(a)pyrene. *Mol Microbiol*. 109(4):433–444. doi:10.1111/mmi.14062

17. Otero-Blanca, A., Folch-Mallol, J. L., Lira-Ruan, V., Carbente, M. D. R. S., & Batista-García, R. A. (2018). Phytoremediation and Fungi: An Underexplored Binomial. In *Approaches in Bioremediation* (pp. 79-95). Springer, Cham.
18. Perini, B. L. B., Bitencourt, R. L., Daronch, N. A., dos Santos Schneider, A. L., & de Oliveira, D. (2020). Surfactant-enhanced in-situ enzymatic oxidation: A bioremediation strategy for oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons in contaminated soils and aquifers. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4), 104013. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104013>
19. Prakash D, Sheela S. 2016. Beneficial role of rhizosphere mycoflora in the field of agriculture: an overview. *Int J Sci Res*. 5(8):529–533
20. Shah, A., Shahzad, S., Munir, A., Nadagouda, M. N., Khan, G. S., Shams, D. F., ... & Rana, U. A. (2016). Micelles as soil and water decontamination agents. *Chemical reviews*, 116(10), 6042-6074. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00132>
21. Tripathi V, Edrisi SA, Chen B, Gupta VK, Vilu R, Gathergood N, Abhilash PC. 2017. Biotechnological advances for restoring degraded land for sustainable development. *Trends Biotechnol*. 35(9):847–859. doi:10.1016/j.tibtech.2017.05.001.
22. US EPA (1996). "Managing Used Oil: Advice for Small Businesses". Report. 530EPA-F-96-004. Web Map Tile Service, 1. http://www.cprac.org/docs/olis_eng.pdf (20.06.2019).
23. Varjani SJ. 2017. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresour Technol*. 223:277–286. doi:10.1016/j.biortech.2016.10.037
24. Walpole ER, Myers R, Myers LS. *Probabilidad & Estadística para Ingeniería & Ciencias*. Ed. Pearson. 2007. 8ª. México. 509.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aceite residual automotriz 126, 127, 128, 130, 132

Administración pública municipal 37, 38, 42, 43, 46

Agua 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 26, 107, 108, 114, 116, 119, 122, 129, 130, 139, 141, 142, 148, 150, 153

Análisis de fase 24, 25, 27, 32, 33, 34

Análisis espectral 24, 25, 27, 29

Aprendizaje 9, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 59, 60, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 84, 85, 86, 88, 89, 90, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 109, 164, 166, 172

B

B-caroteno 110, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124

Bienestar humano 13

BIENESTAR HUMANO 8

C

Carotenoides 114, 115, 124

CAROTENOIDES 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125

CÓDIGOS DE ÉTICA Y CONDUCTA 41, 45

Competencia digital 58

Control interno 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 166

Covid-19 74, 75, 85, 86, 87

Culturas 1, 6, 7, 9, 11, 12, 164

CURSOS CIENCIAS BÁSICA 99

D

Deshidratación 110, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 125

E

E-learning 63, 74, 75, 79, 86, 87

Enfoque cuantitativo 49

F

Formación del ingeniero 97

Formación por competencias 99

M

Métodos 14, 25, 26, 32, 49, 68, 78, 106, 113, 114, 115, 117, 119, 120, 121, 122, 124, 128, 167

México 1, 4, 5, 11, 37, 38, 47, 48, 58, 59, 65, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 86, 126, 127, 133, 134, 136, 138, 139, 143, 158

Microorganismos 8, 127, 131, 136

MINERALIZACIÓN 127, 128, 131, 132

Modelación matemática 88, 89, 90, 98

P

Planificación de cuencas 13

Plantas 2, 8, 127, 130

R

Rendimiento escolar 54, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 84, 85, 86, 87

Residuo peligroso 126, 127, 128, 132

Resultado de aprendizaje 88, 90, 97

Rotating stall 24, 25, 34, 35, 36

S

Socioconstructivismo 88, 91, 94

Soluciones basadas en la naturaleza 13

Suelo 9, 14, 17, 18, 19, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133

Surge 24, 25, 32, 33, 34, 35, 36, 76, 167

T

TIC 58, 60, 66, 71, 73, 86, 87, 100

Tuberculo mashua 110

V


Valor nutritivo 110

W





Web 2.0 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 71, 72, 73


Z

Zonificación territorial 13



Entre
CIENCIA
e
INGENIERIA
2

 www.arenaeditora.com.br
 contato@arenaeditora.com.br
 [@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)
 www.facebook.com/arenaeditora.com.br




Entre


CIENCIA


e


INGENIERIA

2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

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

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br